

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

رساله دکتری مهندسی تبدیل انرژی

بهینه‌سازی سیستم پمپ خورشیدی و مطالعه تجربی آن

بر اساس اقلیم معتدل شمالی (مطالعه موردی شهرستان بابل)

نگارنده: مهدی هدایت پور جلودار

استاد راهنما:

دکتر محمود چهارطاقی

مهر ۱۳۹۹

شماره: ۲۰۲۹۹/۱۳۷

تاریخ: ۹۹/۱۰/۱۰

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۱: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

بدینوسیله گواهی می شود آقای/خانم مهدی هدایت پور جلودار دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک به شماره دانشجویی ۹۳۰۱۴۱۵ ورودی ۱۳۹۳ در تاریخ ۱۳۹۹/۰۷/۲۷ از رساله نظری/ عملی خود با عنوان: بهینه سازی سیستم پمپ خورشیدی و مطالعه تجربی آن بر اساس اقلیم معتدل شمالی (مطالعه موردی شهرستان بابل) دفاع و با اخذ نمره ۱۸/۸۵ به درجه: خیلی خوب نائل گردید.

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۳۰	ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۷
ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹ - ۱۵	د) مردود: کمتر از ۱۵

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱	دکتر محمود چهارمطافی	استاد راهنما	دانشیار	
۲	دکتر	مشاور / مشاورین	---	---
۳	دکتر محمد حسن کیهانی	استاد مدعو داخلی	استاد	
۴	دکتر علی عباس نژاد	استاد مدعو داخلی	استادیار	
۵	دکتر محمد صادق ولی پور	استاد مدعو خارجی	دانشیار	
۶	دکتر مسلم صیوری	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده	استادیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه صنعتی شاهرود:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای مهدی هدایت پور جلودار بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر مهدی گردویی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

۹۹/۱۰/۱۰

تقدیم به:

روح پاک پدرم که عاشقانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی و مهربانی را تجربه نمایم.

تهدنامه

اینجانب مهدی هدایت پور جلودار دانشجوی دوره دکتری مهندسی تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهینه سازی سیستم پمپ خورشیدی و مطالعه تجربی آن بر اساس اقلیم معتدل شمالی (مطالعه موردی شهرستان بابل) تحت راهنمایی دکتر محمود چهارطاقی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در این رساله به مدل سازی سیستم پمپ خورشیدی بر اساس سیستم فتوولتائیک و تلفیق آن با سیستم آبیاری قطره ای به منظور آبیاری مزارع دور از شبکه برق به همراه آزمایشات تجربی و میدانی در اقلیم هوایی معتدل شمالی پرداخته شده است. کوپل نمودن پمپ خورشیدی به صفحات فتوولتاییک به صورت مستقیم و عدم استفاده از باتری باعث کاهش هزینه های سیستم شده، اما از سوی دیگر بهینه نمودن و انطباق نقطه کار پمپ و صفحات فتوولتاییک به خصوص در زمان اتصال به سیستم توزیع آبیاری قطره ای را پیچیده خواهد کرد. مدلی در این رساله ارائه شده که قابلیت پیش بینی رفتار سیستم به صورت بلادرنگ در تمامی ساعات روز را دارد. مدلی کارا و مناسب ارائه گردید که پارامترهای اصلی سیستم شامل، میزان تابش، میزان دبی پمپ، دبی قطره چکان، هد کل سیستم، توان پنل، توان نامی پمپ و دمای سطح صفحه را پیش بینی می کند. تاثیر روزهای مختلف سال و اثرات محیطی بر عملکرد سیستم مشخص گردد. مدل ریاضی تعمیم یافته بر پایه اصل همبستگی در پمپ ها برای پیش بینی حداقل تابش مورد نیاز برای پمپاژ سیستم پمپ خورشیدی متصل به آبیاری قطره ای ارائه شده است. از روش بهینه سازی به روش ازدحام ذرات به منظور بهینه نمودن زاویه نصب پنل، توان پنل و توان پمپ استفاده شده است. رهیافت جدید بهینه سازی بر اساس نیاز آبی گیاه ارائه شده است. بهینه نمودن توان نامی (بیشترین توان صفحات خورشیدی) به عنوان تابع هدف در این رساله مد نظر قرار گرفت. این روش بهینه سازی ابتدا بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه، میزان نیاز آبی را تشخیص داده و بر اساس داده های تابش و شرایط دمایی منطقه مقادیر بهینه را استخراج می نماید. نتایج بهینه سازی زاویه بهینه نصب صفحات، به صورت روزانه و هم به صورت زاویه ثابت ماهانه و سالانه ارائه شده است. نتایج نشان داد زاویه ثابت نصب بهینه پنل بر اساس دوره آبیاری گیاه ۱۵/۵ درجه و زاویه نصب ثابت بهینه بر اساس زاویه سالانه ۳۴ درجه می باشد. تاثیر پارامترهای تاثیرگذار بر مدل ریاضی ارائه شده با استفاده از آزمایش میدانی در روزهای آبیاری گیاه مشخص شد. سیستم اخذ داده مقادیر دمای محیط، دمای صفحات خورشیدی، میزان تابش خورشید،

مقدار دبی لحظه‌ای پمپ، فشار خط قطره چکان، جریان و ولتاژ خروجی از صفحات فتوولتاییک و ورودی به الکتروپمپ را اندازه می‌گرفت. رفتار دبی خروجی یک پمپ جابجایی مثبت در طول روز به سه قسمت صعودی، دبی ثابت و نزولی تقسیم می‌گردد. آستانه تابش جهت شروع کار پمپ اندازه‌گیری گردید و با مقدار مدل ارایه شده ۱۲۵ وات بر متر مربع مقایسه شد. مقادیر آستانه شروع به کار پمپ اندازه‌گیری شده در ده روز آفتابی، مقادیر کمتری نسبت به آستانه شروع به کار در حالت مدل بهینه نشان داد. بر اساس مدل دمای عملکرد نرمال سلول، بیشترین دمای سطح پنل در روزهای آبیاری ۶۷/۵ درجه می‌باشد، حداکثر دمای ثبت شده در روزهای تست ۶۰/۷ درجه می‌باشد. در زمان شروع به کار پمپ افزایش شدید در دمای سطح پنل مشاهده شد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی پمپ فتوولتاییک، مطالعه تجربی، تلفیق آبیاری قطره‌ای، بهینه‌سازی

ازدحام ذرات

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه‌ای بر پمپ خورشیدی	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- ضرورت انجام تحقیق، معرفی کار حاضر	۴
۱-۳- پمپ فتوولتائیک	۵
۱-۴- اصول پمپ آب فتوولتائیک	۷
پمپ‌های دینامیکی	۱۰
پمپ‌های جابجایی مثبت	۱۱
فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین	۱۷
۱-۲- مقدمه	۱۸
۲-۲- بررسی مقالات در زمینه‌ی آنالیز کارایی	۱۸
۳-۲- بهینه‌سازی اندازه‌ی پنل خورشیدی	۲۷
۴-۲- بهینه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک	۳۱
فصل سوم: مدل‌سازی فنی - اقتصادی، بهینه‌سازی	۴۷
۱-۳- روش‌های مدل‌سازی	۴۸
۱-۱-۳- روش‌های سرانگشتی	۴۸
۲-۱-۳- روش تحلیلی	۴۸
۳-۱-۳- روش عددی	۴۹
۴-۱-۳- روش‌های هوشمند	۴۹
۲-۳- تکنیک مدل‌سازی بکار رفته	۴۹
۱-۲-۳- مدل‌سازی انرژی ورودی	۵۱
۶-۲-۳- مدل‌سازی پنل فتوولتائیک	۵۶
۸-۲-۳- مدل محاسبه هد پمپ	۵۹

۶۰	۳-۲-۹-مدل سازی پمپ
۶۲	۳-۳-مدل دستیابی به آستانه پمپاژ
۶۹	۳-۴-بهینه سازی
۷۰	۱-۴-۳-بهینه سازی به روش ازدحام ذرات
۷۲	۳-۴-۲-الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات با وزن اینرسی انطباقی (PSO-W)
۷۳	۳-۴-۳-الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات با ضریب محدودکننده (PSO-CF)
۷۵	۳-۵-تابع هدف، قیود و متغیرهای تصمیم گیری
۷۵	۳-۵-۱-احتمال از دست دادن تامین بار
۷۶	۳-۵-۲-احتمال از دست دادن بار
۷۷	۳-۵-۳-مینیمم کردن توان فتوولتاییک
۷۹	۳-۵-۵-قیود
۷۹	۳-۵-۶-متغیرهای تصمیم گیری
۸۰	۶-۳-مقدار نیاز آبی
۸۲	۳-۷-تحلیل نتایج مدل
۸۴	۷-۳-۱-توان خروجی از پنل فتوولتاییک
۸۸	۲-۳-۷-تحلیل دبی خروجی پمپ
۹۴	۸-۳-نتایج بهینه سازی
۹۶	۳-۸-۱-خروجی پارامترهای بهینه
۱۰۷	فصل چهارم: آزمایشات تجربی
۱۰۸	۴-۱-استند تست
۱۰۹	۴-۱-۱-پنل خورشیدی
۱۱۰	۴-۱-۲-حسگر تشعشع سنج
۱۱۱	۴-۱-۳-حسگر اندازه گیری دبی
۱۱۱	۴-۱-۴-قطره چکان

۱۱۳	 ۴-۱-۵- آماده سازی تست
۱۱۵	 ۴-۲- طرح آزمایش میدانی
۱۲۵	 ۴-۲-۱- فشار
۱۲۶	 ۴-۲-۲- دبی پمپ
۱۲۷	 ۴-۲-۳- ولتاژ و جریان پمپ
۱۳۰	 ۴-۳- تعیین نایقینی
۱۳۰	 ۴-۴- نتیجه گیری
۱۳۳	 فصل پنجم: جمع بندی و ارایه پیشنهادات
۱۳۴	 ۵-۱- جمع بندی
۱۳۵	 ۵-۲- پیشنهادات
۱۳۶	 مراجع:

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ تصویری از تامین آب کشاورزی مزارع برنج با استفاده از سیستم آبیاری پمپ خورشیدی [2] ۳
- شکل ۱-۲ طرحواره‌ای از سیستم پمپ فتوولتائیک [6] ۷
- شکل ۱-۳ روش های مختلف سیستم کوپل مستقیم ۸
- شکل ۱-۴ طیف انرژی ساطع شده از خورشید و طیف انرژی دریافتی توسط پنل‌های سیلیکونی [3] ۹
- شکل ۱-۵ پمپ خورشیدی از نوع سطحی و کنترل کننده مرتبط (سمت چپ) - پمپ خورشیدی مغروق و کنترل کننده (سمت راست) ۱۲
- شکل ۱-۶ میزان توان دریافتی کل بر روی سطح افق در آسمان صاف و کاملاً ابری در عرض جغرافیایی ۴۳ در روز نزدیک به اعتدال [3] ۱۳
- شکل ۱-۷ نقشه میزان انرژی تابشی خورشید کل در طول سال در نقاط مختلف ایران به واحد سطح افقی [۱۱] ۱۴
- شکل ۱-۸ مقدار انرژی خورشید قابل استفاده در شهر شمالی [۱۲] ۱۵
- شکل ۲-۱ نمودار تغییر دور موتور با افزایش هد برای یک پمپ هلیکال [۱۳] ۱۹
- شکل ۲-۲ تحلیل ساعات پیک آفتاب و تغییرات تابش آفتاب در طول روز [۱۶] ۲۱
- شکل ۲-۳ رابطه‌ی بین شدت تابش و دبی خروجی از پمپ [۱۸] ۲۲
- شکل ۲-۴ عملکرد ماهانه تولید آب در سه شهر مختلف و مقایسه با داده‌های نرم‌افزار [۲۲] ۲۴
- شکل ۲-۵ سیستم پمپ فتوولتائیک در مزرعه تحقیقاتی در کزری هندوستان [۲۳] ۲۵
- شکل ۲-۶ محاسبه و اندازه گیری راندمان در شدت تابش‌های مختلف [۲۴] ۲۶
- شکل ۲-۷ پارامترهای موثر در شبیه سازی دینامیکی و تقسیم سیستم پمپ فتوولتائیک و زمین آبیاری ۲۸
- شکل ۲-۸ مشخصه عملکرد سیستم برای ترکیب‌های مختلف (a:12P*4S b:10P*5S c:12P*5S) [۲۹] ۲۹
- شکل ۲-۹ طرحواره‌ای از بررسی تاثیر تغییر چیدمان بر عملکرد پمپ خورشیدی هلیکال [۳۰] ۳۰
- شکل ۲-۱۰ اسپری نمودن آب در جلوی ماژول خورشیدی و نمودار تاثیر اسپری آب بر دمای ماژول خورشیدی ۳۱
- شکل ۲-۱۱ تغییرات راندمان انرژی قابل استفاده بر حسب پیک توان [۳۲] ۳۲
- شکل ۲-۱۲ طرح آبیاری قطره ای با پمپ خورشیدی با شش جزیندی [۳۳] ۳۳
- شکل ۲-۱۳ طرحواره‌ای از سیستم ارایه شده توسط استوپاتو (خط پر نمایگر مسیر آب و خط چین نمایگر مسیر آب) ۳۴

- شکل ۲-۱۴ تجهیزات تست آزمایشگاهی سیستم پمپ فتوولتاییک هامیدت به منظور بهینه سازی احتمال از دست دادن بار. ۳۵
- شکل ۲-۱۵ نمایش سیستم هیبرید باد، پنل خورشیدی و باتری به همراه بار مصرفی [۳۶]..... ۳۶
- شکل ۲-۱۶ شماتیکی از طرح تاو ما و مدل سازی بر اساس الگوریتم ژنتیک ۳۸
- شکل ۲-۱۷ ماکسیمم و متوسط شدت تابش خورشید (داده های اندازه گیری شده اداره هواشناسی گیلان) [۴۵]..... ۳۹
- شکل ۲-۱۸ شماتیکی از طرح کلی سیستم آبیاری قطره ای به همراه پمپ فتوولتاییک..... ۴۵
- شکل ۱-۳ مقایسه بین انرژی استحصالی در ماه های مختلف برای شیب صفر، شیب ماهیانه و شیب 30 درجه در مشهد..... ۵۲
- شکل ۲-۳ زاویه خط الراس، شیب، زاویه آزمون صفحه و زاویه آزمون خورشید برای سطوح شیب دار ۵۴
- شکل ۳-۳ منحنی جریان و راندمان بر حسب ولتاژ برای یک پنل خورشیدی نمونه [۱۵]..... ۵۷
- شکل ۴-۳ مشخصه عملکردی پمپ گریز از مرکز و جابجایی مثبت بر اساس روز آفتابی و با ارایه فتوولتاییک ۶۰۰ وات ۶۰
- شکل ۵-۳ منحنی عملکرد پمپ گریز از مرکز مدل PS1800 CS-36-1 شرکت Lorentz..... ۶۲
- شکل ۶-۳ فشار مورد نیاز پمپ در سیستم قطره ای [۳۲]..... ۶۳
- شکل ۷-۳ فلوچارت مدل سازی سیستم در یک روز آفتابی ۶۸
- شکل ۸-۱۳ الگوریتم بهینه سازی پیشنهادی برای اجرا ۷۸
- شکل ۹-۳ مقایسه انرژی دریافتی مدل و مقادیر واقعی ۸۲
- شکل ۱۰-۳ مقایسه انرژی تابش دریافتی با تابش سنج و انرژی دریافتی مدل در روزهای شاخص ۸۴
- شکل ۱۱-۳ توان خروجی ساعتی پنل در شرایط استاندارد و شرایط دمای محیط در روزهای شاخص ۸۶
- شکل ۱۲-۳ مقایسه داده های تجربی و نمودار برازش شده ۸۷
- شکل ۱۳-۳ نمودار دبی بر حسب شدت جریان بدون قطره چکان ۸۹
- شکل ۱۴-۳ نمودار حجم آب تولیدی بر حسب ساعت روز ۹۰
- شکل ۱۵-۳ تغییرات دبی بر حسب ساعت و تاثیر تعداد قطره چکان در رور انقلاب بهاری ۹۱
- شکل ۱۶-۳ تاثیر زاویه نصب پنل بر مقدار آب تولیدی مدل در روزهای مختلف سال ۹۲
- شکل ۱۷-۳ تاثیر دما بر مقدار راندمان و میزان آب تولیدی مدل در روزهای مختلف سال ۹۲
- شکل ۱۸-۳ میزان تابش خورشید و مقدار تابش آستانه کار پمپ ۹۳
- شکل ۱۹-۳ متوسط تابش روزانه در ماه های مختلف سال و میانگین دمای متوسط محیط ۹۴

- شکل ۲۰-۳ میزان تبخیر و تعرق درخت و متوسط بارندگی در سال برای ماه‌های مختلف..... ۹۵
- شکل ۲۱-۳ مقدار نیاز آبیاری یک هکتار مرکبات برای ماه‌های مختلف سال..... ۹۶
- شکل ۲۲-۳ مقایسه زاویه بهینه پنل خورشیدی روش بهینه‌سازی PSO در شرایط کوپل با پمپ خورشیدی و مقادیر نرم افزار .. ۹۷
- شکل ۲۳-۳ نمودار ماکسیمم توان بهینه پنل و آب مورد نیاز روزانه درخت در ماه‌های مختلف سال..... ۹۸
- شکل ۲۴-۳ توان بهینه پمپ و اثر هد استاتیک بر مقدار توان بهینه..... ۹۹
- شکل ۲۵-۳ سناریوی ترکیب پنل خورشیدی با باتری و سیستم آبیاری قطره‌ای..... ۱۰۲
- شکل ۲۶-۳ سناریوی ترکیب پنل خورشیدی با دیزل ژنراتور و سیستم آبیاری قطره‌ای..... ۱۰۲
- شکل ۲۷-۳ نتایج تحلیل هزینه چرخه محصول برای پمپ دیزل و پمپ خورشیدی..... ۱۰۴
- شکل ۱-۴ نمونه ای از پنل‌های خورشیدی تک کریستال..... ۱۰۹
- شکل ۲-۴ - حسگر اندازه‌گیری شدت تابش..... ۱۱۰
- شکل ۳-۴ حسگر دبی سنج سری yf-s201..... ۱۱۱
- شکل ۴-۴ منحنی عملکرد نمونه ای از قطره چکان تنظیم کننده فشار..... ۱۱۲
- شکل ۵-۴ ساخت استند تست و انجام تست داده برداری بدون اتصال به سیستم قطره چکان..... ۱۱۳
- شکل ۶-۴ سیستم اخذ داده بر اساس پردازنده Adriuno..... ۱۱۴
- شکل ۷-۴ شماتیکی از سیستم داده برداری و تجهیزات تست..... ۱۱۷
- شکل ۸-۴ تجهیزات و سیستم داده برداری استفاده شده در تست..... ۱۱۷
- شکل ۹-۴ قطره چکان‌های موجود در بازار..... ۱۱۹
- شکل ۱۰-۴ مقایسه تابش خورشید در طول یک روز تست با داده ایستگاه داده برداری هواشناسی استان مازندران..... ۱۲۲
- شکل ۱۱-۴ تغییرات دمای محیط و دمای سطح پنل در روز آفتابی تست و مقایسه با مقادیر مدل..... ۱۲۴
- شکل ۱۲-۴ تغییرات ساعتی فشار خط شبکه قطره‌ای در طول روز..... ۱۲۶
- شکل ۱۳-۴ منحنی تغییرات دبی بر حسب زمان در طول روز تست..... ۱۲۷
- شکل ۱۴-۴ منحنی تغییرات جریان و ولتاژ پمپ بر حسب زمان..... ۱۲۸
- شکل ۱۵-۴ مقدار تابش آستانه تابش اندازه گیری شده در یک دوره ۱۰ روزه..... ۱۲۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- مقدار انرژی دریافتی متوسط سالانه در ماه‌های مختلف سال در سناریوهای مختلف [16]..... ۲۰
- جدول ۱-۳- پارامترهای ورودی و ثابت مدل ۸۳
- جدول ۲-۳- میانگین دمای متوسط در دوره ۳۰ ساله ۸۵
- جدول ۳-۳- دمای میانگین محیط در روزهای شاخص به صورت متوسط ۳۰ ساله ۸۵
- جدول ۴-۳- دمای سطح پنل خورشیدی در روزهای شاخص بر اساس متوسط دمای ۳۰ ساله محیط ۸۵
- جدول ۵-۳- مقایسه خطای داده‌های تخمین هد دینامیک کل با داده‌های تجربی ۸۸
- جدول ۶-۳- داده‌های هواشناسی شهر بابل، ایران (36.4316° , 52.6560°) و محاسبه میزان تبخیر مرجع ۹۶
- جدول ۷-۳- پارامترهای طراحی سیستم پمپ فتوولتایک ۱۰۳
- جدول ۸-۳- جزییات محاسبه تحلیل هزینه چرخه محصول ۱۰۳
- جدول ۱-۴- مشخصات پنل خورشیدی استفاده شده در تست ۱۱۸
- جدول ۲-۴- مشخصات الکتروپمپ و شبکه توزیع قطره‌ای ۱۱۸
- جدول ۳-۴- مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری و دقت تقریبی آنها ۱۲۰
- جدول ۴-۴- مقدار ضریب راس برای شرایط مختلف نصب پنل خورشیدی ۱۲۳

فهرست علائم

$\bar{K}_T$	متوسط شاخص صافی هوا روزانه در ماه	a	فاکتور ایده‌آل ساز پنل فتوولتاییک
L (m)	طول لوله	$A_{pv}(m^2)$	سطح مقطع پنل فتوولتاییک
LPS	معیار از دست دادن بار	C_1	ثابت وزنی موقعیت ذره در الگوریتم PSO
LPSP	احتمال از دست دادن بار	C_2	ثابت وزنی موقعیت گروه در الگوریتم PSO
n_e	تعداد قطره چکان	CF	فاکتور محدود کننده
P_{best}	بهترین موقعیت ذره در الگوریتم PSO	D (m)	قطر لوله
P_a	توان ورودی به پمپ	f	ضریب اصطکاک لوله
P_{pv-min}	کمترین توان پنل خورشیدی	G_{sc} (W/m ²)	ثابت تابش خورشید
q	شار ثابت الکترون	g_{best}	بهترین موقعیت گروه در الگوریتم PSO
Q	دبی خروجی پمپ	H (m)	هد پمپ
Q_d	دبی خروجی قطره‌چکان	$\bar{H}_T$	متوسط تابش ماهانه کل
Re_d	عدد رینولدز لوله	$\bar{H}_b$	متوسط تابش ماهانه مستقیم
R_s	مقاومت سری	$\bar{H}_d$	متوسط تابش ماهانه پخش
R_{sh}	مقاومت انحرافی	$\bar{H}_o$	متوسط تابش ماهانه ورودی
SOC	درصد پر بودن مخزن	I_T (W/m ²)	تابش ساعتی کل
T_a	دمای هوا	I_b (W/m ²)	تابش ساعتی مستقیم
T_N	دمای استاندارد پنل فتوولتاییک	I_d (W/m ²)	تابش ساعتی پخش
T_{pv}	دمای کارکرد پنل	I_o (W/m ²)	تابش ساعتی ورودی
v	سرعت توزیع ذرات در الگوریتم PSO	I_L (A)	جریان بی باری
V	سرعت سیال در لوله	k	ثابت بولتزمن
w	ضریب وزنی الگوریتم PSO	K_d	ثابت قطره‌چکان
x	ضریب نمایی قطره‌چکان	K_T	شاخص صافی هوا روزانه
X	موقعیت ذره در الگوریتم PSO		

علايم يوناني

β	زاويه شيب پنل	θ_z	زاويه سمت الراس
β_{opt}	زاويه شيب بهينه	Φ	عرض جغرافيايي
γ	زاويه آزيموت	ω	زاويه ساعت
γ_{opt}	زاويه آزيموت بهينه	ω_{sr}	زاويه طلوع خورشيد
δ	زاويه انحراف خورشيد	ω'_s	زاويه غروب خورشيد در زمان غروب
ε	زبری سطح لوله	ω_{ss}	زاويه طلوع خورشيد
η_{ref}	راندمان پنل فتوولتاييک در شرايط استاندارد	ρ_g	ضريب بازگشت تابش از زمين
η_{tank}	راندمان مخزن ذخيره		
η_{pv}	راندمان پنل خورشیدی		

فصل اول:مقدمه‌ای بر پمپ خورشیدی

۱-۱- مقدمه

آب یکی از مهمترین منابعی است که زندگی انسان به آن وابسته است. آب حاصل از دریاچه‌ها، برکه‌ها، رودخانه‌ها و چاه‌ها جهت مصارفی همچون کشاورزی، دامداری، صنعت و مصارف عمومی بکار برده می‌شود. تامین آب همواره یکی از معضلات موجود بر سر راه توسعه جوامع انسانی به خصوص جوامع روستایی بوده است. آب از دیرباز مهمترین عامل توسعه در جهان بوده است. انسان‌ها در دوران اولیه زندگی، نزدیک رودخانه‌ها و منابع آب تجمع می‌کردند و به فعالیت‌های کشاورزی می‌پرداختند. بهره‌گیری از روش‌های نوین کشاورزی و استفاده بهینه از آب، عوامل حیاتی برای نیل به هدف تأمین غذای جمعیت در حال افزایش دنیا است. طبق برآوردهای سازمان غذا و کشاورزی (فائو)^۱، در ۳۰ سال آینده مردم جهان نیازمند ۶۰ درصد غذای بیشتر خواهند بود. بخش قابل توجهی از این افزایش تولید، حاصل کشت متراکم (استفاده از زمین کمتر برای تولید بیشتر) که نیازمند آبیاری است، خواهند بود [۱].

در بسیاری از مناطق آب در سفره‌های زیرزمینی وجود داشته و خارج‌سازی آن توسط دست یا تلمبه‌های دستی و یا توسط موتورهای دیزلی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند صورت می‌گیرد. در مناطق کویری یا کوهستانی که مشکلات برق رسانی وجود دارد و نیز آب در عمق زیادی از سطح زمین قرار دارد خارج‌سازی آب به روش‌های فوق امکان پذیر نیست.

کمبود الکتریسیته و هزینه‌های بالای دیزل موجب شده از انرژی خورشیدی به منظور تامین آب شرب و آبیاری استفاده گردد. در واقع در سیستم پمپ فتوولتائیک^۲ از انرژی خورشید جهت تامین برق مورد نیاز پمپ استفاده می‌گردد. سیستم پمپاژ با استفاده از سوخت‌های فسیلی علاوه بر هزینه‌ی بالای سوخت منجر به آلودگی محیط زیست می‌گردند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیرات و نگهداری پمپ‌های دیزلی بین ۲ تا ۴ برابر سیستم پمپ

¹ Food and Agriculture Organization. (FAO)

² Photovoltaic Pump

فتوولتایک است [۲]. پمپ‌های خورشیدی سازگار با محیط زیست و همین‌طور هزینه نگهداری کم و بدون هزینه سوخت هستند. با نگرش کاهش خطوط برق در مناطق روستایی و پرت موجب شده تا کاربرد پمپ‌های خورشیدی بیشتر از پمپ‌های مرسوم گردد. این تکنولوژی مانند پمپ‌های مرسوم است با این تفاوت که منبع تامین توان، انرژی خورشید است. سیستم‌های آب شهری برای پمپ آب به شهرک‌ها نیاز به برق دارند. کاربرد پمپ‌های فتوولتایک حوزه‌ی وسیعی مانند پمپاژ از حاشیه شهر به شهر، سیستم پمپاژ صنعتی، مراکز آموزشی و غیره می‌باشد. مقدار دبی این پمپ‌ها به میزان تابش خورشید و مقدار توان نامی آرایه خورشیدی بستگی دارد. طراحی درست سیستم فتوولتایک باعث می‌شود که هزینه‌های بلندمدت در مقایسه با سیستم‌های متداول به طور چشمگیری کاهش یابد. در شکل ۱-۱ نمونه ای از صفحات خورشیدی نصب شده برای تامین آب مزارع برنج در کشور بنگلادش نشان داده شده است. بر اساس گزارش بانک مرکزی میزان هزینه کشاورزی و تامین آب در این کشور با استفاده از پمپ خورشیدی کاهش یافته است [۳]

تولیدات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه به میزان بارندگی بستگی دارد و نبود آب در تابستان برای این محصولات مضر می‌باشد. با این وجود بیشترین تابش در تابستان می‌باشد. در عین حال می‌تواند آب بیشتری پمپ کرد تا پاسخگوی نیاز آبی باشد. تحقیقات بسیار زیادی در حوزه‌های مختلف برای کاربردی‌سازی و بهینه‌سازی این سیستم در بین کشورهای دارای تابش خورشید مناسب انجام شده و در حال توسعه می‌باشد.



شکل ۱-۱ تصویری از تامین آب کشاورزی مزارع برنج با استفاده از سیستم آبیاری پمپ خورشیدی [۲]

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق، معرفی کار حاضر

استفاده از آب برای آبیاری محصولات کشاورزی که در معرض تنش‌های آبی قرار می‌گیرند حایز اهمیت می‌باشد. قابل کشت نمودن اراضی شیب‌دار و آبیاری محصولات کشاورزی بدون نیاز به شبکه برق و مصرف سوخت باعث توسعه پمپ‌های فتوولتائیک شده است. سیستم پمپ خورشیدی دارای پیچیدگی‌های زیادی از لحاظ بهینه‌سازی انتخاب المان‌های مختلف آن است. شرایط آب و هوایی و نوع منبع تامین آب در اختیار، تاثیر به سزایی بر عملکرد این نوع از پمپ می‌گذارد. انجام تحقیقات علمی و ارایه روش‌های مختلف به منظور کاهش هزینه و بهینه‌سازی منجر به استفاده بیشتر از این سیستم برای کشاورز خواهد شد. در این تحقیق تلاش شده تا مطالعات پیشین در این زمینه در ایران و جهان مورد بررسی و واکاوی قرار گیرد. به طور تاریخی نوآوری‌های بسیار خوبی در این زمینه در دنیا صورت گرفته و همچنان در حال انجام می‌باشد. با توجه به مسجل شدن دستیابی به سیستم پمپی که بتواند بر پایه انرژی‌های نو آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی را تامین نماید، تلاش شده تا نوآوری‌های جدید در این زمینه صورت گیرد.

در این تحقیق آرایش جدید یک سیستم پمپ خورشیدی از نوع جریان مستقیم متصل به آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. از عوامل هزینه‌افزا مانند مخزن ذخیره، باتری، مبدل‌های الکتریکی، ردیاب جهت، ردیاب بالاترین توان صفحه خورشیدی دوری جسته و عملکرد سیستم در طول یک روز به صورت لحظه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. بدین صورت که خروجی الکتریکی صفحات خورشیدی به طور مستقیم به پمپ جریان مستقیم متصل شده و خروجی هیدرولیکی پمپ هم به طور مستقیم به شبکه آبیاری قطره‌ای متصل گردید. با توجه به تغییر میزان انرژی دریافتی در طول روز، ساعاتی که پمپ در شرایط نامی کار کند کمتر خواهد بود. بر این اساس مدلی ریاضی بلادرنگ برای سیستم با توجه به شرایط اقلیمی و منابع آب در اختیار ارایه شد. علاوه بر آن یک رهیافت جدید به منظور بهینه‌سازی برای سیستم کوپل مستقیم بر اساس نیاز آبی درخت ارایه شده است. همانطور که می‌دانیم هزینه صفحه خورشیدی و پمپ، تابع توان نامی آن می‌باشد. در این

بهینه‌سازی تلاش شد سیستم به نحوی بهینه گردد که مقدار توان نامی صفحه خورشیدی^۱ و پمپ کمترین مقدار گردد به شرطی که بدترین شرایط نیاز آبی گیاه را پاسخگو باشد. تاثیر پارامترهای محیطی محل مورد تحقیق بر عملکرد سیستم مذکور در مدل بررسی و ارزیابی می‌شود. فقدان تحقیقات در این حوزه در کشور و به خصوص در منطقه معتدل شمالی نیازمند به برپایی تجهیزات آزمایشگاهی و میدانی می‌باشد. در این تجهیزات عملکرد پارامترهای تاثیرگذار بر نتایج به صورت تجربی مشاهده و ارزیابی گردد.

۱-۳- پمپ فتوولتایک

یک پمپ فتوولتایک خورشیدی شامل یک آرایه فتوولتایک^۲، پمپ شناور و یا مغروق و یا پمپ سطحی جریان متناوب و یا جریان مستقیم و تجهیزات الکترونیک می‌باشد. در هنگام روز و تابش خورشید، آب پمپ می‌شود و در طی روز در تانک‌ها ذخیره می‌شود و در شب و روزهای ابری استفاده می‌گردد. در مناطقی که نیاز به آبیاری در تمام شرایط است می‌توان از منبع ذخیره آب به جای باتری استفاده کرد و معمولاً از باتری به جز در موارد خاص استفاده نمی‌گردد.

استفاده از پمپ فتوولتایک به صورت تجربی از سال ۱۹۷۰ آغاز شد [۲]. پس از آن الزاماتی ایجاد شده تا تاثیر طراحی‌های نادرست بر بازده کلی سیستم دیده شود. با برطرف شدن محدودیت‌ها، سازندگان، پمپ‌های مناسب با قابلیت اطمینان و کارایی بالا طراحی و ساختند. کاهش مستمر قیمت صفحات خورشیدی باعث شده تا سیستم پمپاژ خورشیدی برای بازه‌ی وسیعی از کاربردها قابل رقابت اقتصادی گردد. پمپ خورشیدی جریان مستقیم با کوپل مستقیم از لحاظ تعداد اجزا بسیار ساده و قابل اطمینان هستند، ولی وقتی تابش خورشید از صبح تا غروب تغییر کند نمی‌توان کل سیستم را همواره در نقطه‌ی کار بهینه قرار داد. در این شرایط پمپ خورشیدی در معرض تابش‌های مختلف و توان ورودی متفاوت به پمپ خواهد بود. هرچند اضافه کردن یک

¹ Peak Power

² Photovoltaic Array

ردیاب بیشترین نقطه توان^۱ می‌تواند بر عملکرد پمپ تاثیر گذاشته و باعث بهبود آن گردد، اما هزینه نصب این سیستم ها از لحاظ اقتصادی به صرفه نمی باشد.

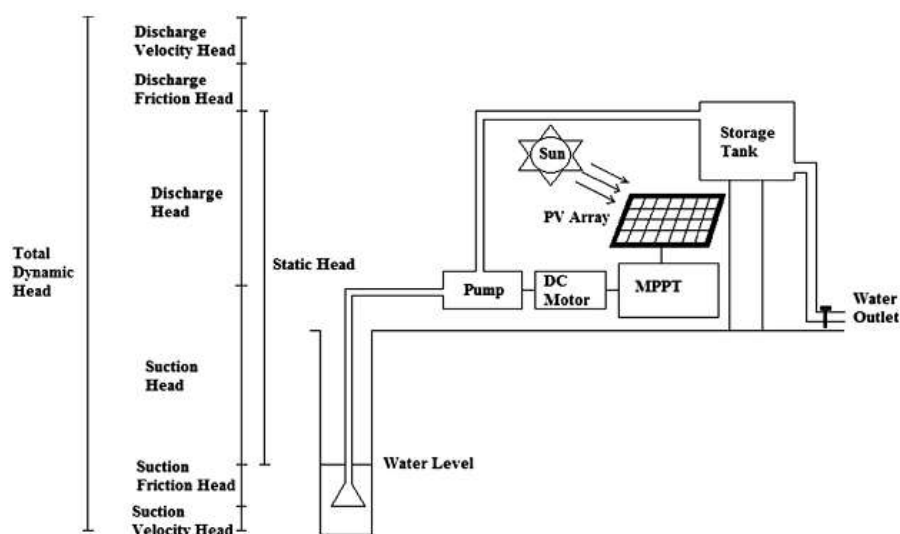
نمونه‌های اولیه پمپ‌های فتوولتائیک از نوع پمپ‌های گریز از مرکز بودند که توسط موتورهای جریان مستقیم یا جریان متناوب حرکت داده می‌شدند [۲]. راندمان هیدرولیکی این پمپ‌ها بین ۲۵ تا ۳۵ درصد بود. در نمونه‌های بعدی سیستم پمپاژ خورشیدی، از پمپ‌های جابجایی مثبت استفاده می‌شد که مشخصه کلی آن توان پایین، هزینه‌های کمتر و راندمان هیدرولیک بالای ۷۰ درصد بود. سیستم پمپاژ امروزی از تجهیزات الکترونیکی استفاده می‌کنند که توان خروجی، عملکرد سیستم و راندمان کلی سیستم را افزایش می‌دهند. کنترلر ورودی‌هایی را به منظور مانیتور کردن سطح تانک ذخیره، کنترل سرعت پمپ و سیستم ردیاب بیشترین توان به منظور بهینه‌سازی مقدار آب تولیدی بکار می‌برند. ردیابی نور خورشید باعث کاهش توان نامی صفحات خورشیدی برای یک توان خروجی خواسته شده و افزایش راندمان کلی سیستم می‌شود. سیستم ردیاب خورشیدی مقدار زمان تامین بیشترین آب را افزایش می‌دهد. پمپ‌های خورشیدی در بازار دارای هد ۵ تا ۲۰۰ متر و دبی تا بیش از ۲۵۰ مترمکعب بر روز هستند.

طی ۱۵ سال اخیر پمپ‌ها با موتورهای هلیکال (پمپ‌های جابجایی مثبت) پیشرفت چشمگیری داشتند که این قابلیت را دارند که سال‌ها در داخل آب قرار می‌گیرند. این پمپ‌ها با موتورهای مشابه موتورهای پمپ‌های سانتریفیوژ کار می‌کنند. از وقتی که قیمت مازول صفحات خورشیدی به ۰/۷۵ دلار بر وات در سال ۲۰۱۴ نسبت به قیمت ۱ دلار بر وات در سال ۲۰۱۲ رسید، قیمت سیستم پمپاژ کل سیستم فتوولتائیک به شدت تحت تاثیر قرار گرفت. این تاثیر شدید به واسطه‌ی اینست که صفحات خورشیدی بین ۶۰ تا ۸۰ درصد قیمت کل سیستم پمپ فتوولتائیک را شامل می‌شود [۴]. افزایش هزینه دیزل طی چند سال اخیر و کاهش هزینه‌های سیستم فتوولتائیک موجب جذابیت بیشتر پمپ‌های فتوولتائیک از منظر اقتصادی شده است.

¹ Maximum Power Point Tracking

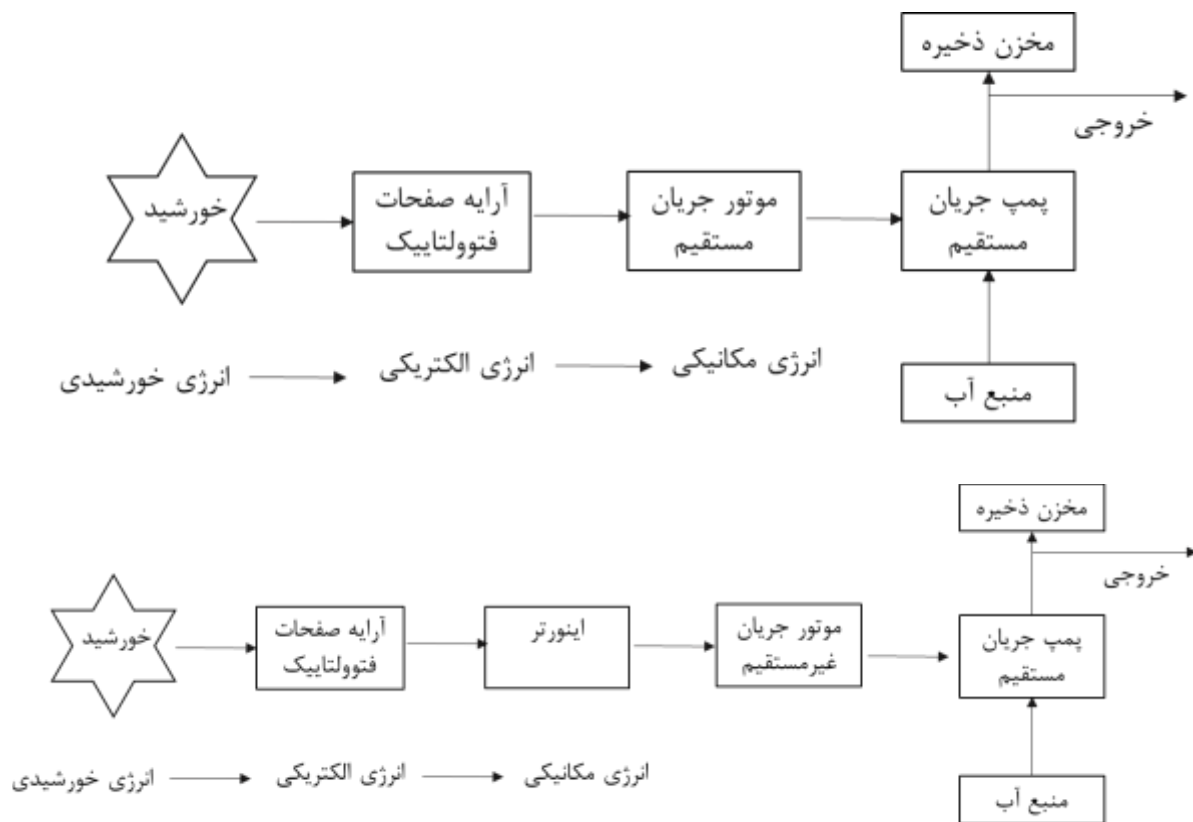
۴-۱- اصول پمپ آب فتوولتائیک

صفحات فتوولتائیک به یک موتور جریان متناوب یا جریان مستقیم متصل هستند که این موتورهای انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل و توسط پمپ به انرژی هیدرولیک تبدیل می‌شود. ظرفیت پمپاژ الکتریکی تابع سه متغیر، فشار، دبی و توان مورد نیاز برای پمپ می‌باشد. به منظور طراحی، فشار را می‌توان به عنوان کار انجام شده به وسیله پمپ به منظور بالا آوردن مقداری آب از یک ارتفاع تا مخزن ذخیره در سیستم‌های که دارای مخزن ذخیره بوده، در نظر گرفت. اختلاف ارتفاع بین منبع تامین آب تا مخزن ذخیره را می‌توان به عنوان کار پمپ در نظر گرفت. بنابراین پمپ آب مقدار توان مورد نیاز خود را جهت تامین توسط سیستم فتوولتائیک مشخص می‌کند. در شکل ۱-۲ طرحواره‌ای از یک نمونه پمپ فتوولتائیک به روش کوپل مستقیم به همراه مخزن نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ طرحواره‌ای از سیستم پمپ فتوولتائیک به همراه مخزن [۲]

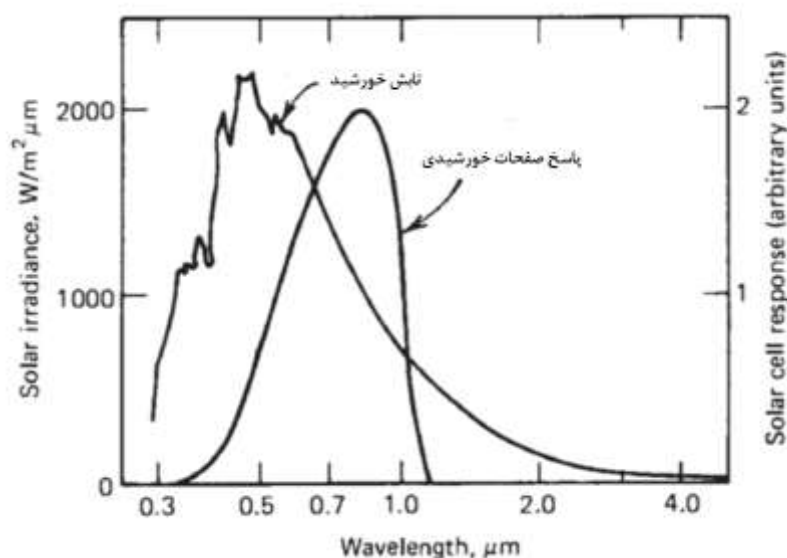
انواع مختلفی از سیستم پمپ خورشیدی با کوپل مستقیم به سیستم جریان متناوب یا جریان مستقیم که تا به حال استفاده شده در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ روش‌های مختلف سیستم کوپل مستقیم [۴]

آب چشمه، رود، رودخانه یا چاه می‌تواند به عنوان منابع تامین آب باشد. منبع آب باید سریع‌تر از نرخ پمپ کردن آب پر شود. در حالیکه نرخ پمپ آب بیشتر از نرخ پر شدن منبع آب باشد، منبع آب خشک می‌شود و موجب آسیب به پمپ می‌گردد. مهم‌ترین متغیر در طراحی سیستم حجم آب منبع تامین کننده، نرخ تخلیه و هزینه آن می‌باشد.

صفحات فتوولتاییک تولید توان، شامل ماژول‌هایی از سیستم فتوولتاییک هستند که به صورت موازی و یا سری به یکدیگر متصل و ولتاژ مورد نیاز پمپ را تامین می‌نمایند. ماژول‌های فتوولتاییک انرژی خورشید ناشی از تابش را به جریان الکتریسیته تبدیل می‌کنند. فناوری صفحات خورشیدی که تا امروز ساخته شده قابلیت دریافت هم طول موج‌های ساطع شده از خورشید را ندارند. در شکل ۱-۴ طیف انرژی ساطع شده از خورشید و طیف انرژی دریافتی توسط صفحات خورشیدی سیلیکونی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱ طیف انرژی ساطع شده از خورشید و طیف انرژی دریافتی توسط صفحات خورشیدی سیلیکونی [۵]

انرژی بدست آمده از ماژول‌های فتوولتائیک بسته به شرایط آب و هوایی می‌باشد. در واقع این سیستم‌ها دارای نقطه بهینه کارکرد هستند که ماکسیمم نقطه‌ای توان نامیده می‌شود. این نقطه به شدت تابش بستگی دارد. به منظور دستیابی به ماکسیمم توان ماژول فتوولتائیک از یک مبدل DC-AC یا DC-DC که توسط ریدایب ماکسیمم نقطه توان کنترل شده استفاده می‌شود. یک بوستر جریان خطی بین صفحات فتوولتائیک و پمپ قرار می‌گیرد تا در شرایط تابش کم بتواند پمپ را روشن کند.

موتورهای جریان مستقیم در توان‌های پایین‌تر نسبت به موتورهای جریان غیرمستقیم استفاده می‌شود. در سیستم پمپ فتوولتائیک زیر ۵ کیلووات از موتور جریان مستقیم استفاده می‌شود [۴]. این موتورها در دو نوع با ذغال^۱ یا جاروبک و بدون ذغال هستند. موتورهای با ذغال به واسطه‌ی اصطکاک بین کموتاتور^۲ و ذغال به طور متناوب دچار خوردگی می‌شوند و بایستی سرویس گردند. این مساله زمانی که از پمپ مغروق استفاده می‌شود حایز اهمیت است زیرا در این شرایط کل پمپ بایستی بیرون آورده و دوباره نصب گردد. موتورهای

^۱ Brush

^۲ Commutator

سنکرون مغناطیس داریم بدون ذغال به همراه پمپ گریز از مرکز از موتورهای جریان مستقیم توان پایین، بهتر هستند. این نوع موتورها دارای اندازه‌ی کوچک بوده و به اندازه‌ی موتورهای جریان متناوب با دوام می‌باشند.

پمپ‌های خورشیدی بر اساس نوع کاربرد به سه دسته پمپ مغروق^۱، پمپ شناور^۲ و پمپ سطحی^۳ تقسیم می‌شوند. پمپ‌های مغروق آب را از چاه‌های عمیق بیرون می‌کشند. پمپ‌های سطحی آب را از چاه‌های کم‌عمق، چشمه‌ها، استخرها، رودخانه‌ها یا تانکرها و پمپ‌های شناور آب را از منابع تامین آب با قابلیت تطبیق ارتفاع پمپ می‌کنند. در سیستم پمپ‌های مغروق و شناور، پمپ و موتور با همدیگر ساخته می‌شوند. در سیستم پمپ سطحی، پمپ و موتور به صورت جدا انتخاب می‌گردند تا عملکرد سیستم در حضور صفحه خورشیدی و کنترل کننده بررسی گردد. پمپ‌ها ترکیب مشخص و واحدی بین فشار و دبی هستند مانند پمپ‌های دبی بالا با هد کم و یا دبی کم با هد زیاد.

پمپ‌ها از لحاظ اصول عملکرد به دو گروه پمپ‌های دینامیکی و پمپ‌های جابجایی مثبت تقسیم می‌شوند. پمپ‌های دینامیکی به وسیله سرعت دادن به سیال و پخش آن عمل می‌کنند. راندمان پمپ‌های دینامیکی از پمپ‌های جابجایی مثبت کمتر است اما نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری در قیاس با آن دارند. پمپ‌های جابجایی مثبت با وارد کردن نیرو مقدار ثابتی از حجم سیال را در ورودی پمپ گرفته و در ناحیه‌ی خارجی تحویل می‌دهد. این پمپ‌ها به طور کلی بزرگتر از پمپ‌های دینامیکی هم‌ظرفیت خود است. پمپ‌های گریز از مرکز و پمپ جریان محوری نمونه‌هایی از پمپ‌های دینامیکی است [۴]

• پمپ‌های دینامیکی

پمپ گریز از مرکز به وسیله‌ی چرخش پروانه پمپ و نیروی مکشی که ایجاد می‌کند سیال را به بیرون هدایت می‌کند. آب با سرعت و فشار بیشتر از لحظه ورود، از آن خارج می‌شود. پمپ‌های گریز از مرکزی که مستقیماً

¹ Submersible Pump

² Floating Pump

³ Surface Pump

به صفحات خورشیدی متصل هستند در هد پایین به کار برده می‌شوند. یک پمپ گریز از مرکز قابلیت انطباق با خروجی صفحه خورشیدی را دارد. کارکرد این نوع پمپ‌ها برای دوره زمانی زیاد و سطح عایق‌بندی کم و مشخصات بار نزدیک به بیشترین نقطه توان فتوولتائیک می‌باشد. پمپ‌های گریز از مرکز راندمان نسبتاً بالایی دارند، اما در سرعت‌های پایین راندمان کاهش می‌یابد. پمپ‌های گریز از مرکز برای هدهای کم و متوسط (تا ۸۰ متر) با دبی بالا اقتصادی هستند [۴] پمپ‌های جریان محوری جز پمپ‌های دینامیکی هستند که از پروانه برای تولید نیروی بالابرنده‌ی سیال در لوله استفاده می‌کنند. این پمپ‌های اغلب در آبیاری فشار کم، تخلیه گودال و کاربردهای سیل زدایی کاربرد دارند.

• پمپ‌های جابجایی مثبت

پمپ‌های اسکرو و پمپ‌های پیستونی جزو پمپ‌های جابجایی مثبت هستند. پمپ‌های جابجایی مثبت، پمپ‌های حجمی نیز نامیده می‌شوند و مشخصه گشتاور-سرعت متفاوتی دارند. این پمپ‌ها از نوع پروانه‌چرخان می‌باشند که آب را به صورت شعاعی به سمت محفظه می‌چرخانند تا ممنتوم آب تبدیل به فشار مورد استفاده برای بالا بردن آب گردد. در پمپ‌های جابجایی مثبت خروجی آب به طور مستقیم با سرعت پمپ متناسب است اما از مقدار هد مستقل است. در پمپ‌های اسکرو، قسمت مارپیچ، آب را در سمت مکش پمپ به تله می‌اندازد و به سمت بیرون نیرو وارد می‌کند. در پمپ‌های پیستونی (دیافراگم) حرکت پیستون، آب را به سمت محفظه با استفاده از شیر ورودی می‌فرستد و به وسیله شیر خروجی به بیرون می‌اندازد. پمپ‌های پیستونی بسیار پیچیده‌تر و با قطعات متحرک زیاد هستند و نیازمند روغن کاری داخلی پمپ هستند که پتانسیل ریسک این پمپ‌ها را در چاه افزایش می‌دهد. این پمپ‌ها در ولتاژهای پایین (۲۴-۴۸ ولت) با جریان روزانه کم (تا ۵ متر مکعب بر روز) برای هد در حدود ۱۵۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۵-۱ پمپ خورشیدی از نوع سطحی و کنترل کننده مرتبط (سمت چپ) - پمپ خورشیدی مغروق و کنترل کننده (سمت راست)

انتخاب پمپ برای پمپاژ خورشیدی به دبی مورد نیاز، ارتفاع آب و کیفیت آب بستگی دارد. پمپ خورشیدی بهینه انتخاب می‌شود تا بتواند نیازمندی‌های دبی روزانه و هد مورد نیاز را تامین نماید.

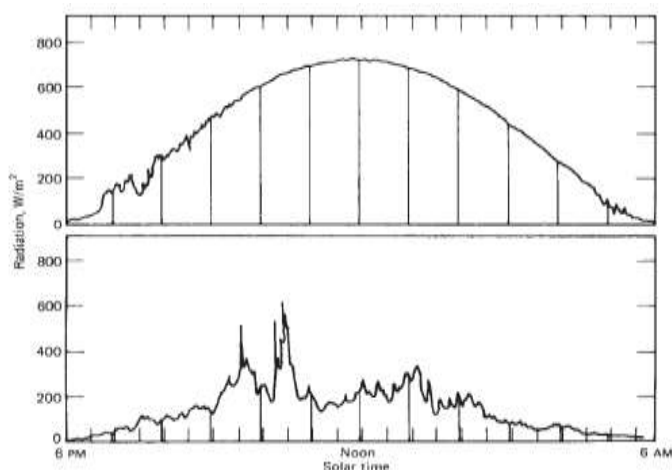
کارکرد پمپ فتوولتاییک وابسته به نرخ جریان آب بوده که به شرایط آب و هوایی در منطقه مانند مقدار تابش خورشید و تغییرات دمای هوا وابسته می‌باشد. همچنین راندمان پمپ خورشیدی به مقدار آب مورد نیاز، حجم مخزن ذخیره، مقدار ارتفاعی که آب پمپ می‌شود، حجم آب پمپ شده، انرژی آرایه فتوولتاییک (kWh)، انرژی پمپ (kWh)، راندمان پمپ و تغییرات روزانه فشار پمپ به واسطه‌ی تغییر در تشعشع وابسته است. مقدار راندمان صفحه فتوولتاییک تاثیر زیادی بر عملکرد پمپ فتوولتاییک دارد. در کنار اینها کاهش عملکرد این صفحات فتوولتاییک به واسطه‌ی پیری بر عملکرد پمپ نیز وجود دارد.

عملکرد سیستم پمپ فتوولتاییک به پارامترهای زیر خلاصه می‌شود:

- مقدار تابش در دسترس در محل

- مقدار ارتفاع دینامیکی کل^۱
- دبی جریان آب
- تاثیر شرایط محیطی

خارج از اتمسفر زمین توان تابش خورشیدی برابر ۱۳۵۳ وات بر مترمربع است. بیشترین توان تابش خورشیدی بر روی سطح آب‌های آزاد برابر ۱۰۰۰ وات بر مترمربع است. این میزان بسته به عوامل مختلفی مانند موقعیت جغرافیایی مختلف تغییر می‌کند. انرژی خورشیدی در ایران به طور متوسط در یک روز بین ۰/۶ تا ۴/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. دانستن میزان انرژی خورشیدی در منطقه مورد نظر از آن جهت قابل اهمیت است که بعد از مشخص شدن نیاز آبی منطقه، می‌توان میزان انرژی مصرفی برای تهیه این آب را محاسبه کرده و از آنجا با توجه به توان خورشیدی منطقه، توان نامی صفحات خورشیدی مشخص می‌گردد. انرژی دریافتی از خورشید به صورت‌های مختلف به سطح روی زمین می‌رسد. مقدار انرژی دریافتی در روزهای ابری و آفتابی متفاوت خواهد بود. همچنین مقدار انرژی در طول روز متغیر بوده و از مقدار کم در صبح و رسیدن به بیشترین مقدار در ظهر و سپس کاهش تا غروب تغییر می‌کند. در شکل ۱-۶ تغییرات تابش کل دریافتی بر روی سطح زمین در یک روز آفتابی و ابری نشان داده شده است.



شکل ۱-۶ میزان توان دریافتی کل بر روی سطح افق در آسمان صاف و کاملاً ابری در عرض جغرافیایی ۴۳ در روز نزدیک به اعتدال [۵]

¹ Total Dynamic Head(TDH)

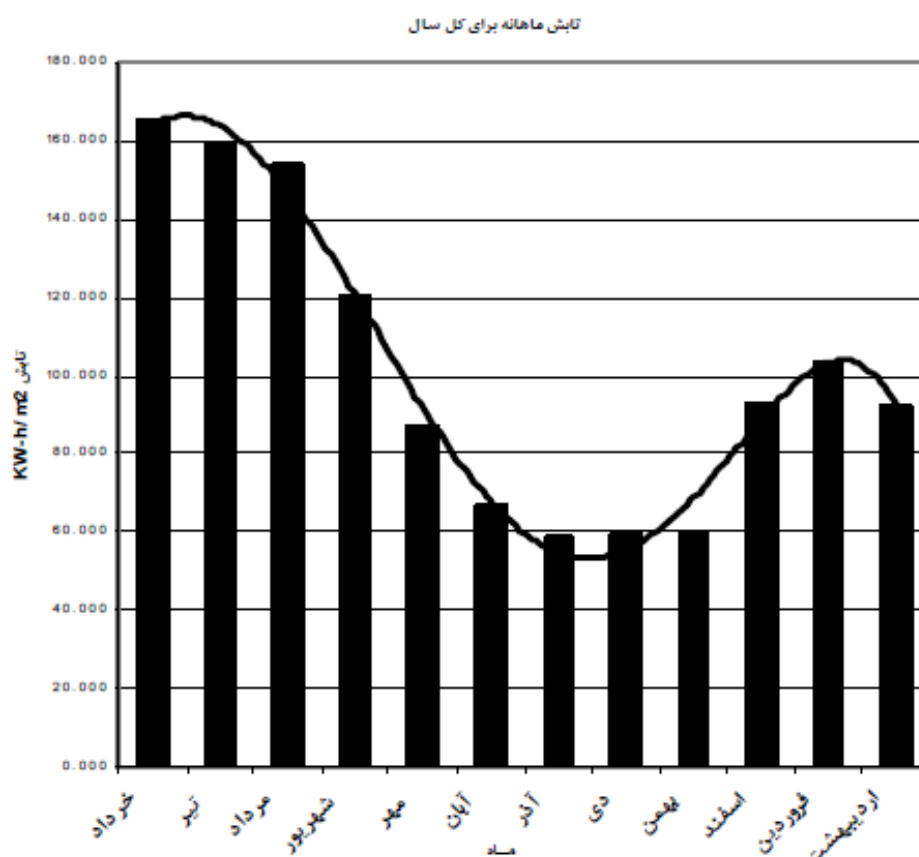
در مورد انرژی خورشیدی، میزان تابش رسیده به سطح زمین و همچنین بررسی تعداد روزهای آفتابی و یا نیمه آفتابی مورد اهمیت است. هرچند این پمپ‌ها حتی در روزهای تمام ابری نیز می‌توانند به کار خود ادامه دهند (نمونه‌های متصل به باتری). میانگین سالانه تابش خورشیدی کل بر روی سطح افقی و میزان تابش روزانه برای هر منطقه را می‌توان از ایستگاه‌های هواشناسی تهیه کرد. یکی از داده‌های مهم در ارزیابی کلی میزان پتانسیل منطقه از لحاظ تابش خورشید، مقدار تابش متوسط روزانه در سال می‌باشد. بر این اساس کشور ایران به چهار منطقه تقسیم می‌شود. در شکل ۱-۷ نقشه میزان انرژی تابش خورشید در طول سال برای مناطق مختلف ایران نشان داده شده است.



شکل ۱-۷ نقشه میزان انرژی تابشی خورشید کل در طول سال در نقاط مختلف ایران به واحد سطح افقی [۶]

همانطور که در نقشه مشخص شده منطقه معتدل شمالی در کمترین ناحیه تابش خورشید می‌باشد. طاهریان و همکاران مقدار تابش انرژی خورشید را برای یک سال در یکی از شهرهای شمالی (بابل) اندازه‌گیری کردند [۷]. این اندازه‌گیری نشان داد میزان متوسط روزانه در سال انرژی خورشید در محل اندازه‌گیری در حدود ۳/۳۸ کیلووات-ساعت در روز می‌باشد. در شکل ۱-۸ میزان انرژی دریافتی ماهانه خورشید در ماه‌های مختلف نشان

داده شده است. همانطور که در نمودار پیداست در فصول گرم سال که نیاز به آبیاری در این مناطق وجود دارد از پتانسیل مناسبی برای استفاده از انرژی خورشید وجود دارد.



شکل ۸-۱ مقدار انرژی خورشید قابل استفاده در شهر شمالی [۷]

یکی دیگر از پارامترهای هواشناسی که تاثیر بسیار زیادی بر عملکرد صفحات فتوولتائیک داشته دمای محیط می‌باشد. دمای محیط هر چه از مقدار استاندارد آن بیشتر باشد، مقدار توان خروجی از صفحه کاهش می‌یابد.

در این رساله پس از ارائه مقدمه‌ای از پمپ خورشیدی و ویژگی‌های آن به مرور کارها و تحقیقات گذشته پرداخته شده است. در انتهای بررسی کارهای گذشته در فصل دوم به دلایل تحقیق بر این موضوع و نوآوری‌های مطرح شده پرداخته شده است. در فصل سوم ابتدا مدل ریاضی به منظور پیش‌بینی رفتار سیستم پمپ خورشیدی متصل به آبیاری قطره‌ای ارائه و در ادامه این فصل به روش بهینه‌سازی جدید ارائه شده در این

تحقیق پرداخته شده است. در انتهای همین فصل به تحلیل اقتصادی از سیستم پرداخته شده و دلیل استفاده از روش کوپل مستقیم به واسطه کاهش هزینه اشاره شده است. در فصل چهارم جزییات مطالعه آزمایشگاهی انجام گرفته بیان شده است. در انتهای کار هم جمع بندی و پیشنهادات برای ادامه تحقیق ارائه شده است.

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

استفاده از توان فتوولتائیک برای آبیاری قابل رقابت با دیگر روش‌های تامین انرژی می‌باشد بخصوص در زمانی که نیاز آبی کم می‌باشد. سیستم تامین آب خورشیدی جهت مصارف کشاورزی و دامپروری در مناطقی که دور از شبکه برق می‌باشند دارای جذابیت بالایی می‌باشند. برخی از مطالعات در این حوزه در زمینه‌ی برآورد کارایی، بهینه‌سازی، روش‌های طراحی اندازه‌ی المان‌ها، بهبود راندمان و عوامل موثر در راندمان سیستم و مباحث زیست محیطی و اقتصادی می‌باشد. برخی از کارهای برجسته در این زمینه آورده شده است.

۲-۲- بررسی مقالات در زمینه‌ی آنالیز کارایی

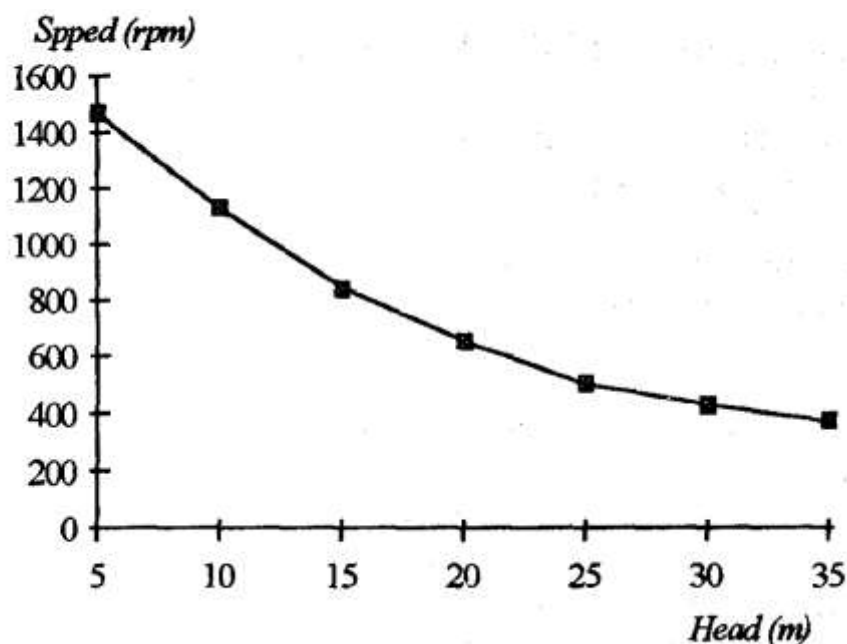
در این بخش روش‌های ارزیابی کارایی استفاده شده در مقالات مختلف بررسی شد. گاد^۱ روشی را برای پیش‌بینی عملکرد سیستم پمپ فتوولتائیک با کوپل مستقیم برای محلی در صناعا شمالی در مصر با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری توسعه داد [12]. این شبیه‌سازی مقدار عملکرد ساعتی سیستم را در هر روز از سال در زوایای پنل خورشیدی مختلف انجام می‌دهد. این شبیه‌سازی نشان داد در هوای تابستانی در تاریخی که آفتاب بیشترین مدت در آسمان بوده و در زمان اعتدال شب و روز و در زمستان با هوای کاملاً صاف، مقدار آب تولیدی به ترتیب برابر با ۲۴/۰۶ مترمکعب بر روز، ۲۱/۴۷ مترمکعب بر روز و ۱۲/۱۲ مترمکعب بر روز می‌باشد. مقدار راندمان آرایه فتوولتائیک در زمستان و تابستان به هم نزدیک و به ترتیب برابر با ۱۳/۸۶ و ۱۳/۹۱ درصد می‌باشد.

کاتان^۲ و همکارانش عملکرد سیستم پمپ خورشیدی را با در نظر گرفتن آرایه فتوولتائیک، ردیاب خورشیدی، کنترل کننده بیشترین نقطه توان و با موتور جریان مستقیم مغناطیس دایم و پمپ با روتور هلیکال آنالیز کردند و دریافتند که عملکرد سیستم وقتی که سیستم ردیاب بیشترین توان و ردیاب خورشید به آن اضافه

¹ Gad

² Katan

می‌شود افزایش پیدا می‌کند [۱۳]. برای پمپ هلیکال در نظر گرفته شده مقدار دور پمپ با افزایش هد کاهش می‌یابد.



شکل ۱-۲ نمودار تغییر دور موتور با افزایش هد برای یک پمپ هلیکال [۱۳]

همرونی و همکاران [۱۴] مدل‌سازی سیستم پمپ خورشیدی را با استفاده از صفحات خورشیدی، مبدل ولتاژ جریان مستقیم و پمپ مغروق به صورت کوپل مستقیم و استفاده از مخزن ذخیره انجام دادند. نتایج بررسی آنها بر اساس داده‌های میدانی نشان داد زمانی که تابش در مقدار بیشینه قرار دارد، علاوه بر مقدار دبی خروجی بیشینه پمپ، سیستم دارای مقدار بیشترین راندمان می‌باشد. این مقدار بیشینه در میانه روز اتفاق می‌افتد، اما مقادیر دبی خروجی کم می‌گردد زمانی که پارامترهای هواشناسی دچار نوسان می‌گردند.

بیشترین راندمان کل سیستم بدست آمده توسط همرونی در بهترین حالت ۳٪ می‌باشد. در این مدل و نتایج آزمایشگاهی تاثیر عبور ابر و کاهش میزان شدت تابش به شدت بر دبی عبوری از پمپ تاثیر می‌گذارد. در این تحقیق تنها به مدل‌سازی بسنده کرده و از تکنیک‌های بهینه‌سازی استفاده نشده است.

عباید و همکاران رهیافتی منحصر برای طراحی پمپ فتوولتاییک برای تامین آب شرب در نظر گرفتند [۱۶]. آنها برای بدست آوردن توان نامی صفحات خورشیدی با ۶ سناریوی مختلف به مدت دو سال به اندازه‌گیری میزان انرژی دریافتی از خورشید پرداختند. این سناریوها شامل اندازه‌گیری با زاویه ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ثابت در کل سال و ۳۰ درجه تابستانه و ۲۰ درجه زمستانه، ۴۰ درجه تابستانه و ۲۰ درجه زمستانه و ۴۰ درجه تابستانه و ۳۰ درجه زمستانه شد. بیشترین انرژی دریافتی در شرایط زاویه ۴۰ درجه تابستانه و ۲۰ درجه زمستانه بدست آمد. در این روش از تحلیل بدترین ماه^۱ تابشی برای طراحی پمپ فتوولتاییک استفاده شده است. معیار طراحی بر اساس کمترین تابش و انرژی دریافتی ماهانه که برای محل اندازه‌گیری شده ماه دسامبر بوده، استفاده شده است.

جدول ۱-۱- مقدار انرژی دریافتی متوسط سالانه در ماه‌های مختلف سال در سناریوهای مختلف [۱۶]

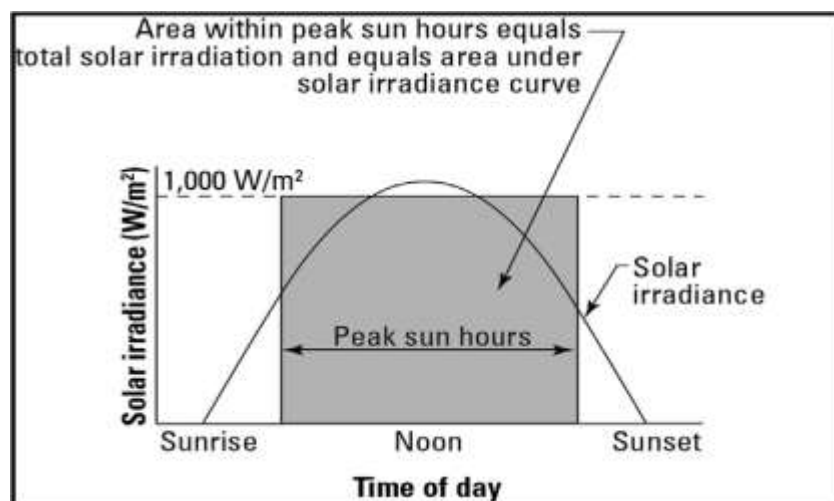
Well (W34) Month	Monthly - averaged daily radiation on a tilted surface H_T for certain (β) values (KW h/m ²)					
	30° Tilted year - round	20° Tilted year - round	40° Tilted year - round	30° Winter - 20° summer tilted	40° Winter - 30° summer tilted	40° Winter - 20° summer tilted
January	5.49	5.33	5.55	5.49	5.55	5.55
February	6.14	6.09	6.09	6.14	6.09	6.09
March	6.96	7.06	6.76	6.96	6.76	6.76
April	7.7	7.93	7.36	7.93	7.7	7.93
May	8.18	8.48	7.76	8.48	8.18	8.48
June	8.35	8.68	7.93	8.68	8.35	8.68
July	8.24	8.56	7.82	8.56	8.24	8.56
August	7.84	8.1	7.48	8.1	7.84	8.1
September	7.18	7.33	6.92	7.33	7.18	7.33
October	6.37	6.36	6.26	6.37	6.26	6.26
November	5.63	5.49	5.66	5.63	5.66	5.66
December	5.28	5.08	5.38	5.28	5.38	5.38

به منظور طراحی و بدست آوردن مقادیر توان از روش تحلیل ساعات پیک آفتاب^۲ استفاده شده است. همانطور که می‌دانیم شدت تابش خورشید در ساعت‌های مختلف روز متفاوت می‌باشد. در برخی از ساعات کمتر از مقدار تابش در حالت استاندارد و در برخی از ساعات ممکن است از مقدار استاندارد که برابر ۱۰۰۰ وات بر متر مربع بوده، بیشتر گردد. در این روش میزان ساعاتی که انرژی دریافتی از خورشید برابر با مقدار استاندارد بوده

¹ Worst Month Method Analysis

² Peak Sun Hours(PSH)

محاسبه و به عنوان معیار طراحی در نظر گرفته می‌شود. این روش به عنوان یکی از روش‌های تحلیلی مرسوم برای طراحی سیستم‌های فتوولتایک با ذخیره انرژی باتری می‌باشد.



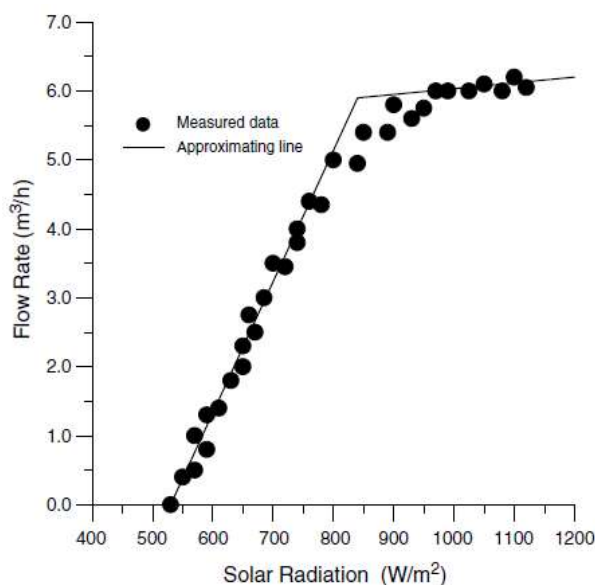
شکل ۲-۲ تحلیل ساعات پیک آفتاب و تغییرات تابش آفتاب در طول روز [۱۶]

روش ارائه شده توسط عباید یک روش تحلیلی جامع جهت طراحی سیستم پمپ فتوولتایک جهت تامین آب آشامیدنی با در نظر گرفتن مخزن ذخیره و باتری می‌باشد. جزییات مربوط به افت‌های قسمت‌های مختلف و تاثیر پیری و کاهش عملکرد پنل فتوولتایک بر عملکرد کل سیستم در این بررسی به خوبی دیده شده است. در این مقاله روشی برای بهینه‌سازی سیستم در نظر نگرفته و با دیدگاه تحلیلی و در نظر گرفتن مقادیر بالا برای اجتناب از خطا و از دست دادن بار به طراحی پرداخته شده است. علاوه بر آن در طراحی‌هایی که از باتری برای تامین برق استفاده می‌شود طراحی‌ها ساده‌تر بوده، اما مقادیر هزینه افزایش زیادی پیدا می‌کند.

لکسن و وروج^۱ الگوریتمی توسعه دادن که عملکرد ماهانه سیستم پمپ فتوولتایک را بدون ذخیره باتری برای چهار محل در ایالات متحده با استفاده از مقدار تابش ماهانه به عنوان ورودی داده و مقدار حجم آب ماهانه را بر اساس شبیه‌سازی پیش‌بینی و تست کردند.

مدل ارایه شده توسط آنها شدت تابش را به صورت خطی با دبی پمپ در نظر گرفته بودند. پمپ زمانی شروع بکار نموده که شدت تابش از مقدار آستانه عبور نموده است. بعد از آن دبی جریان متناسب با شدت تابش افزایش می‌یابد. مقدار دبی ساعتی بر اساس مدل، با انتگرال شدت تابش در کل محاسبه شد [۱۷].

عامر و همکاران به بررسی رابطه میزان تابش بر دبی خروجی از پمپ پرداختند. آنها منحنی رابطه‌ی بین دبی خروجی از پمپ را بر حسب میزان شدت تابش به سه بخش تقسیم و رابطه‌ی بین شدت تابش و دبی خروجی را با رابطه‌ی تجربی بیان نمودند [۱۸].



شکل ۲-۳ رابطه‌ی بین شدت تابش و دبی خروجی از پمپ [۱۸]

¹ lexson and Veroj

همانطور که در نمودار مشاهده می‌گردد در شدت تابش آستانه مقدار دبی پمپ صفر می‌باشد. پس از آن این رابطه تا شدت تابش ۸۵۰ وات بر متر مربع به صورت خطی تغییر می‌کند و پس از آن شیب افزایش دبی به ازای شدت تابش کاهش می‌یابد.

خطیب امکان‌سنجی و آنالیز حساسیت استفاده از پمپ فتوولتایک به تنهایی و با باتری و دیزل ژنراتور را بررسی نمودند [۱۹]. بررسی آنها با استفاده از مدل‌سازی تک‌تک اجزا و با یک فلوچارت ابتکاری صورت گرفته است. بررسی آنها نشان داد که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشترین تاثیر از لحاظ هزینه بر سیستم دارد. آنها پارامتر از دست دادن بار را صفر در نظر گرفته برای هر سه حالت سیستم پمپ خورشیدی با مخزن ذخیره، پمپ خورشیدی با باتری و پمپ خورشیدی با سیستم ژنراتور مقایسه انجام شده است. این مقایسه نشان داد که سیستم پمپ خورشید با مخزن ذخیره بهینه‌ترین انتخاب می‌باشد. توان پنل خورشیدی برای حالت بهینه ۲/۴ کیلووات و مقدار حجم مخزن ۸۰ متر مکعب بر اساس فلوچارت پیشنهادی بدست آمده است. در نظر گرفتن مقدار صفر برای پارامتر از دست دادن بار مقدار سخت‌گیرانه‌ای می‌باشد و بیشتر در سیستم‌های تامین آب شرب بکار می‌رود.

خان و همکارانش^۱ پمپ آب خورشیدی طراحی کردند که با اضافه کردن مبدل بوک جهت تامین جریان راه‌اندازی پمپ DC بکار می‌رود. در این سیستم به خاطر کاهش هزینه اولیه و هزینه نگهداری از باتری ذخیره‌ساز و اینورتر استفاده نشده است [۲۰].

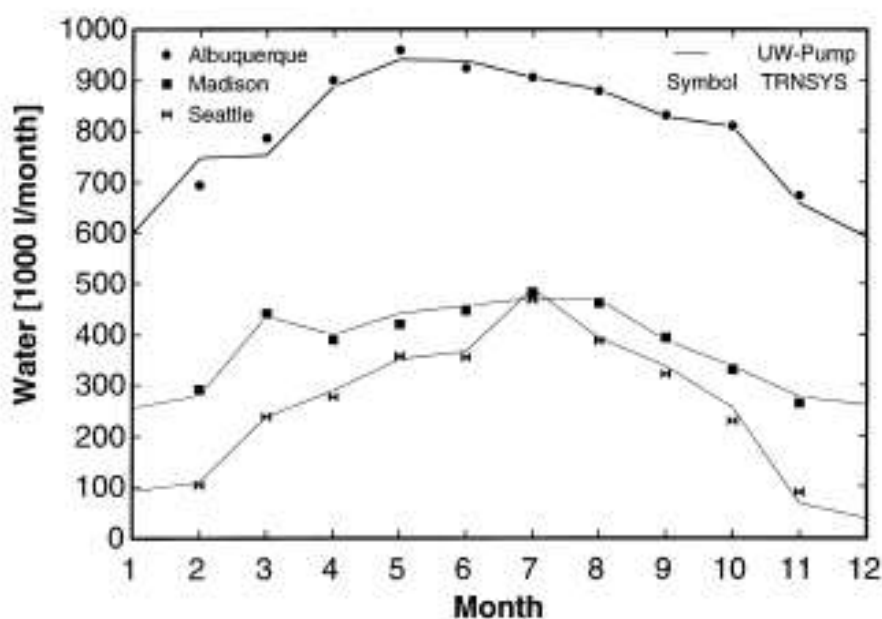
موکدم و همکاران^۲ عملکرد سیستم پمپ خورشیدی را با اتصال مستقیم پمپ جریان مستقیم به پنل خورشیدی بررسی کردند. این سیستم بدون باتری و سیستم کنترل شارژ عمل می‌کرد. راندمان موتور- پمپ از ۳۰ درصد بیشتر نگردید که برای سیستم‌های کوپل مستقیم متداول است. این سیستم برای عملکرد برای

¹ Khan et al.

² Mokeddem et al.

آبیاری با هد کم در مناطق دور دست مناسب می‌باشد [۲۱]. قطعا عملکرد این سیستم‌ها با انتخاب مناسب اندازه‌ی صفحات خورشیدی و جهت‌یابی آن و همچنین سیستم مناسب موتور پمپ افزایش خواهد یافت.

کو و همکارانش^۱ روشی برای پیش‌بینی عملکرد سیستم در مدت زمان طولانی در سیستم کوپل‌مستقیم ارایه نموده‌اند که در مطالعات آنها از داده‌های شرکت‌های سازنده پنل‌های خورشیدی و موتور-پمپ استفاده شده است. برای داده‌های هواشناسی از میانگین تابش ماهانه و دمای محیط استفاده شده است. این روش به اندازه ۶ درصد با محاسبات صورت گرفته در نرم‌افزار بر پایه داده‌های ساعتی اختلاف دارد و پیشنهاد شده تا به عنوان معیار طراحی و پیش‌بینی طولانی مدت در آب و هوای آمریکا مورد استفاده قرار گیرد [۲۲].



شکل ۴-۲ عملکرد ماهانه تولید آب در سه شهر مختلف و مقایسه با داده‌های نرم‌افزار [۲۲]

پانده و همکارانش سیستم پمپ فتوولتاییکی را توسعه دادند که به صورت آبیاری قطره‌ای عمل می‌کرد و در مناطق کم‌آب کاربرد داشت. آنها تاثیر پارامترهای طراحی را مانند اندازه‌ی پمپ، آب مورد نیاز، تغییرات روزانه

¹ Kou et al

خورشید و به تبع آن فشار سیستم بر روی قطره چکان را مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند که با توان ۹۰۰ وات صفحه خورشیدی، پمپ ۸۰۰ وات جریان مستقیم و موتور مونوبلاک می‌توان فشار بین ۷۰ الی ۱۰۰ کیلوپاسکال را با دبی ۳/۴ الی ۳/۸ لیتر بر ساعت در هر قطره چکان ایجاد کرد. میزان عدم یکنواختی در مساحت یک هکتار در حدود ۹۲ الی ۹۶ درصد می‌باشد. پیشنهاد شده تا تست‌های کامل‌تر این روش با مخزن برداشت با هد مکش کم‌تر برای رشد محصولات دور از دسترس صورت گیرد [۲۳].

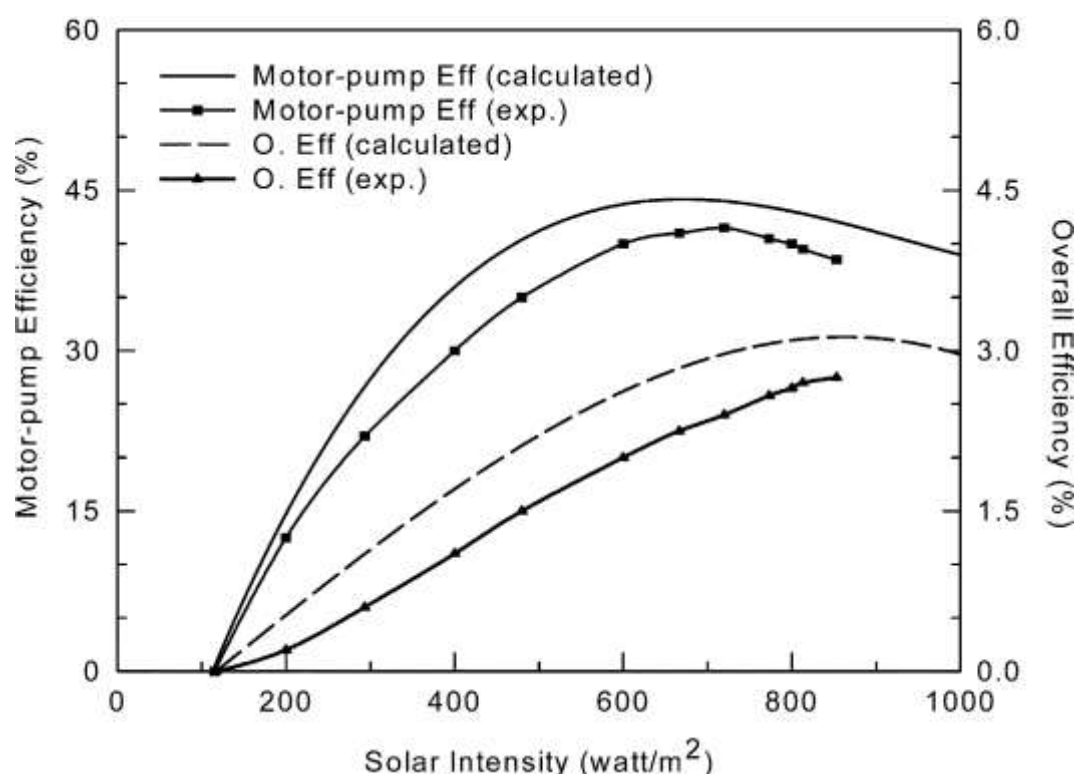


شکل ۵-۲ سیستم پمپ فتوولتاییک در مزرعه تحقیقاتی در کزری هندوستان [۲۳]

پانده در بررسی های خود مدلی برای پیش‌بینی و طراحی ارایه نکرده است. از رابطه تجربی برای ارتباط دبی و هد استفاده نمود. تاثیر تغییرات سطح ولتاژ بر تغییرات دور پمپ و عملکرد کل سیستم بررسی نکرد. از طرفی پانده بیشتر تلاش نمود تا پارامترهای کشاورزی مانند میزان یکنواختی توزیع و انتخاب قطره چکان را به خوبی بررسی نماید.

موهانلال و همکارانش عملکرد سیستم کوپل مستقیم موتور جریان مستقیم مغناطیس دایم را با پمپ گریز از مرکز در شدت تابش مختلف و با در نظر گرفتن دمای سلول‌های خورشیدی بررسی نمودند [۲۴]. نتایج آزمایشات تجربی و محاسبات نشان داد که اندازه پنل خورشیدی و مشخصات الکترومکانیکی پمپ مناسب می‌باشد. نویسندگان گزارش کردند که در صورت چرخش صفحات به صورت دستی به صورت سه بار در روز راندمان سیستم را به اندازه ۲۰ درصد نسبت به حالت کاملاً ثابت افزایش می‌دهد.

منحنی عملکرد محاسبه شده و مقادیر تجربی برای پمپ به تنهایی و منحنی راندمان کلی ارایه شده توسط نویسنده نشان می‌دهد منحنی عملکرد موتور پمپ در یک تابش خاص ماکسیمم و بعد از آن کاهش می‌یابد، در صورتیکه منحنی عملکرد کلی با افزایش شدت تابش افزایش می‌یابد.



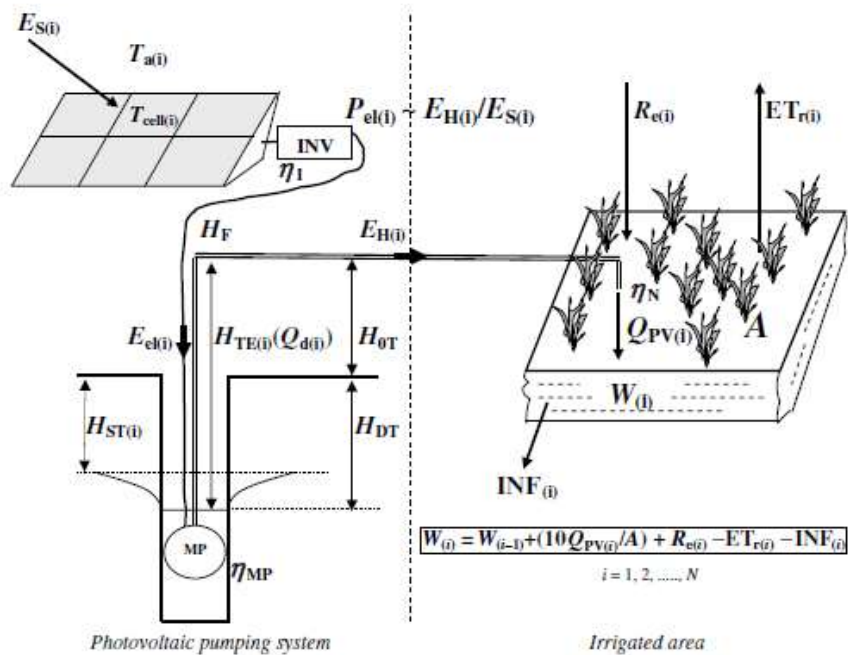
شکل ۲-۶ محاسبه و اندازه‌گیری راندمان در شدت تابش‌های مختلف [۲۴]

۲-۳- بهینه‌سازی اندازه‌ی پنل خورشیدی

واگدی و همکارانش [۲۵] سیستم سوییچینگ را برای پمپ خورشیدی پیشنهاد دادند که در صورت شارژ شدن باتری‌ها، خروجی سیستم فتوولتایک به صورت مستقیم به پمپ کوپل می‌گردد. این کار با در نظر گرفتن سه پارامتر توان نامی پنل خورشیدی، ظرفیت باتری ذخیره و حجم تانک ذخیره باعث کاهش هزینه می‌گردد. نویسندگان پیشنهاد دادند که بهترین راه برای کاهش هزینه، کاهش هزینه‌ی آرایه فتوولتایک به واسطه‌ی اینکه اصلی‌ترین مازول هزینه در سیستم فتوولتایک می‌باشد.

مارگتا^۱ سیستم آبیاری بر اساس پمپ خورشیدی را با استفاده از مدل بهینه‌سازی هیبریدی برای بهینه‌سازی سیستم با استفاده از یک برنامه‌نویسی شبیه‌سازی شده توسعه دادند [۲۶]. مواردی که مارگتا در شبیه‌سازی خود علاوه بر المان‌های سیستم پمپ فتوولتایک بکار برد شامل: قطر چاه، شرایط آب و هوای محلی، خاک، محصولات و سیستم آبیاری می‌باشد. این مدل در دو نقطه در کرواسی مورد تست و ارزیابی قرار گرفت [۲۷]. مشخص شد که توان الکتریکی تولیدی که از این روش بهینه‌سازی بدست آمد از مقادیر روش استفاده شده به نسبت کمتر می‌باشد. آنها سیستم بهینه‌سازی خود را به دو قسمت سیستم پمپ فتوولتایک و زمین آبیاری تقسیم نمودند.

¹ Margeta



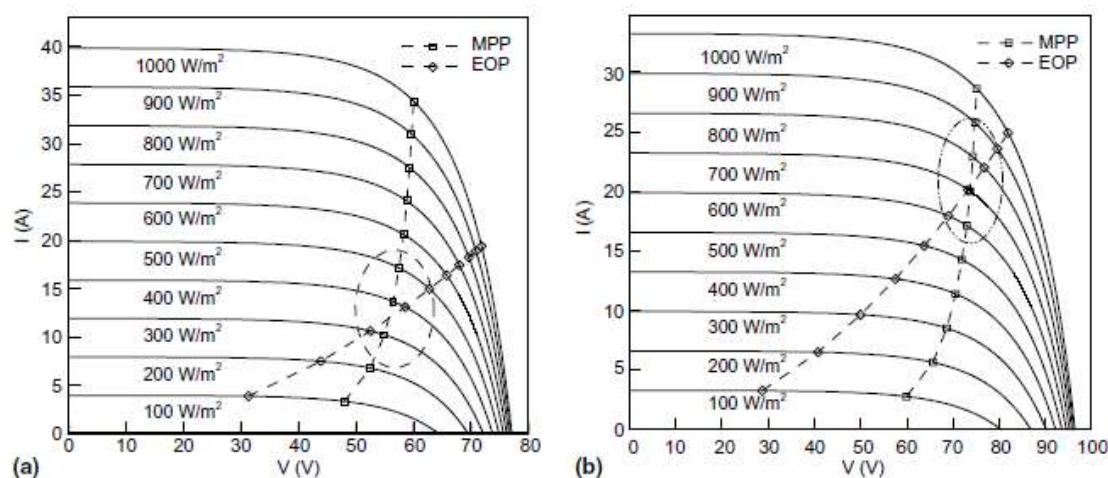
شکل ۲-۷ پارامترهای موثر در شبیه سازی دینامیکی و تقسیم سیستم پمپ فتوولتائیک و زمین آبیاری [۲۶]

مدل ارایه شده توسط مارگتا بر پایه دینامیک سیستم پمپ خورشیدی استوار است و در این زمینه تحقیقات منحصر به فردی صورت داده است.

هامیدات دو روش ریاضی برای بدست آوردن اندازه سلول‌های خورشیدی پیشنهاد داد [۲۸]. این مدل‌ها مقادیر نرخ جریان خروجی را به هد پمپ ارتباط می‌دادند. بدین منظور از دو تکنولوژی مختلف برای مطالعه استفاده نمود. ابتدا پمپ گریز از مرکز که به یک الکتروموتور سه فاز متصل است و در شرایط دوم یک پمپ جابجایی مثبت به همراه موتور جریان مستقیم مورد تست قرار داد. نتایج نشان داد که پمپ جابجایی مثبت از عملکرد بهتری برخوردار است.

یاسیلتا از روش بهینه‌سازی چندمرحله‌ای ساده‌شده برای بهبود استفاده از سیستم پمپ فتوولتائیک با کوپل مستقیم استفاده کرده است [۲۹]. اصلی‌ترین مواردی که وی مورد مطالعه قرار داد شامل:

- محاسبه شیب خط بهینه‌ی ماهانه بوسیله‌ی روش جستجو خطی
 - بدست آوردن فواصل تابش خورشید بهینه بوسیله‌ی روش تواناساز^۱
 - انتخاب چیدمان بهینه پنل خورشیدی بوسیله‌ی روش جستجو غیرخطی بر پایه داده‌های اماری
- چیدمان مختلف پنل منجر به سطح ولتاژ و جریان خروجی متفاوت بر روی الکتروموتور و به تبع آن مقدار گشتاور و سرعت متفاوت پمپ می‌گردد. الگوریتم توسعه داده شده خیلی ساده، سریع و بدون مشکلات عددی می‌باشد [۲۹]. طرح آرایه شده توسط یاسیلتا بدون در نظر گرفتن شبکه توزیع آبیاری آرایه شده است. تاثیر تغییرات را به صورت ماهانه نشان داده است و تاثیر آن به صورت روزانه و ساعتی دیده نشده است. یاسیلتا روشی برای کاهش تابش آستانه با استفاده از ترکیب چیدمان آرایه پنل آرایه نکرده است.

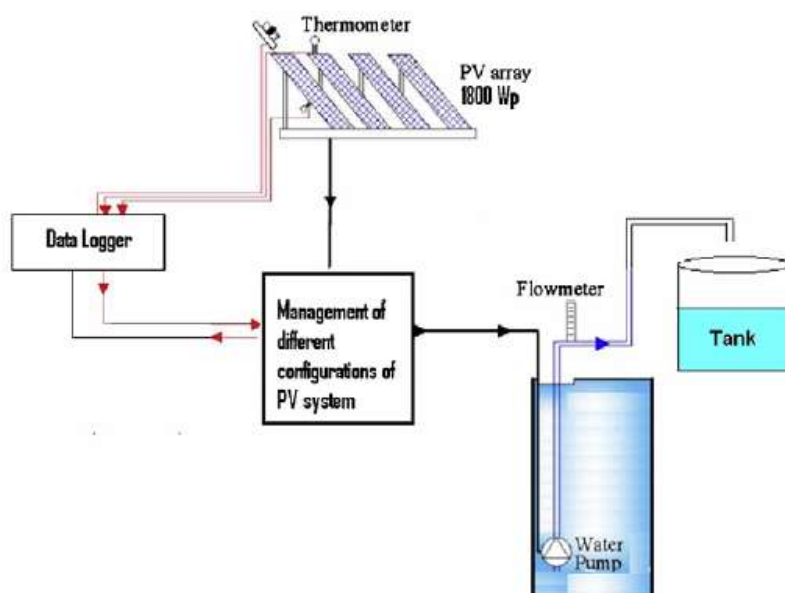


شکل ۸-۲ مشخصه عملکرد سیستم برای ترکیب‌های مختلف (a: ۱۲P*۴S b: ۱۰P*۵S c: ۱۲P*۵S) [۲۹]

بن قانم [۳۰] مطالعه بررسی چیدمان پنل خورشیدی را بر عملکرد پمپ هلیکال درون چاهی رو بررسی نمود. در این بررسی از ۲۴ پنل خورشیدی با چیدمان مختلف استفاده و تاثیر آن را بر عملکرد پمپ هلیکال در آب و هوای مدینه بررسی نمود. بر اساس این مطالعه در شرایط استفاده از ۶ پنل سری به صورت ۴ خط موازی

¹ Utilizability Method

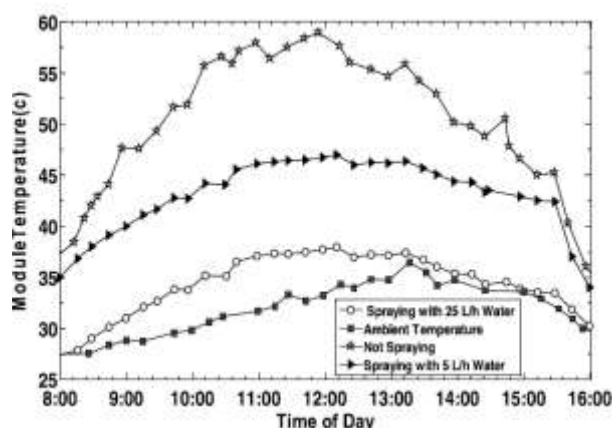
بهترین حالت بوده و قابلیت تولید ۲۲ متر مکعب آب در روز می باشند. منحنی توان و جریان-ولتاژ پنل‌ها در شرایط مختلف بدست آمده است. در این بررسی از پمپ خورشیدی صنعتی استفاده شده و بیان شده که در تابش‌های مختلف پمپ در بهینه‌ترین حالت آن است، اما روش آن ارایه نشده است. در این مطالعه مدلی از شبیه‌سازی و انتخاب المان‌ها ارایه نشده است. بررسی‌ها به صورت تجربی در محل به منظور عملکرد برای تامین آب شرب در یک مخزن ذخیره انجام شده و تاثیر عملکرد سیستم آبیاری قطره ای بر روی سیستم پمپ دیده نشده است.



شکل ۹-۲ طرحواره‌ای از بررسی تاثیر تغییر چیدمان بر عملکرد پمپ خورشیدی هلیکال [۳۰]

عبدالله زاده و همکارانش تاثیر اسپری نمودن آب را بر عملکرد سیستم در شرایط کاری مختلف بررسی کرد [۳۱]. در واقع با توجه به کاهش عملکرد پنل خورشیدی با افزایش دما، عبدالله زاده از این نقطه ضعف پنل‌های خورشیدی با اسپری کردن آب بر روی آن استفاده نمود و راندمان کل سیستم را افزایش داد. پمپ آب با دو و سه ماژول از پنل با توان ۲۲۵ وات با اسپری موازی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد در دمای بالای سلول خورشیدی مقدار راندمان افت می‌کند. اسپری آب قادر است دمای سطح پنل را کاهش داد و به تبع آن

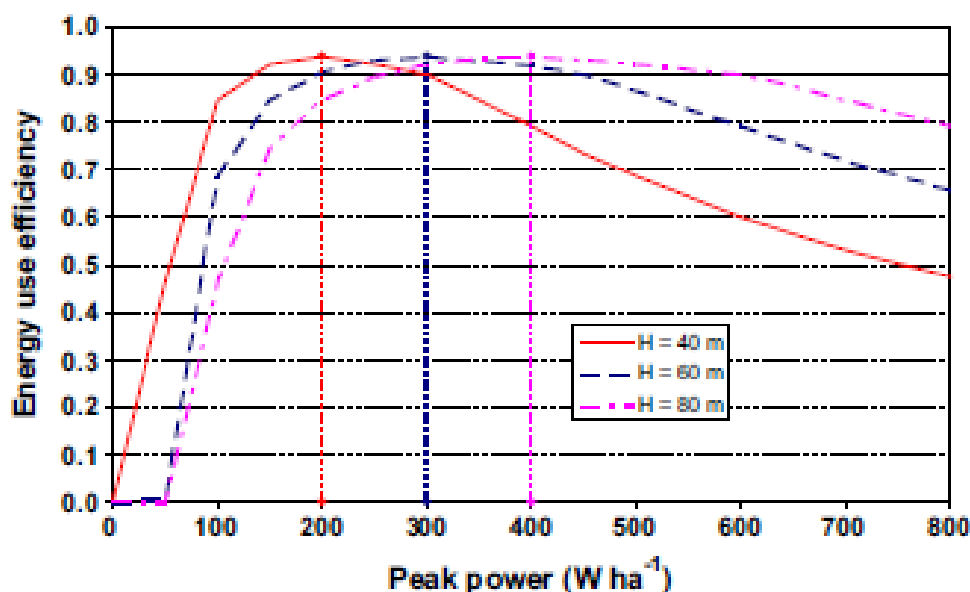
راندمان سیستم افزایش می‌یابد. مقادیر دمای ماژول با اسپری و بدون اسپری آب، دمای محیط، مقدار آب اسپری شده در نمودار شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰ اسپری نمودن آب در جلوی ماژول خورشیدی و نمودار تاثیر اسپری آب بر دمای ماژول خورشیدی [۳۱]

۲-۴- بهینه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک

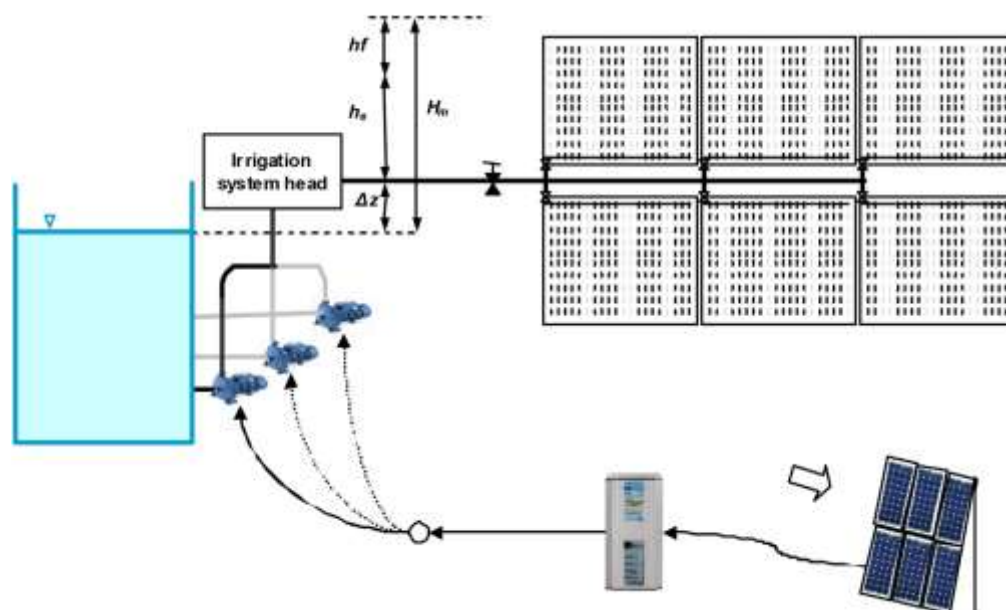
لوپز لوکیو از یک مدل برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی اقتصادی آبیاری قطره‌ای با پمپ خورشیدی استفاده کرد [۳۲]. در طرح پیشنهادی وی از یک پمپ جریان غیرمستقیم با مبدل جریان استفاده شده است. او در مدل خود از سه زیرسیستم شامل زیرسیستم پنل خورشیدی، زیرسیستم پمپ و زیرسیستم محصول بهره برده است. معادله تعادل آب را برای محصول بیان و میزان آب تولیدی توسط سیستم را با توجه به نیاز آبی تنظیم نمود. در واقع در این بررسی هدف تولید آب بیشتر نبوده، بلکه با توجه به پارامترهای موثر در معادله تعادل آب، تولید آب مورد نیاز مطرح بوده است.



شکل ۱۱-۲ تغییرات راندمان انرژی قابل استفاده بر حسب پیک توان [۳۲]

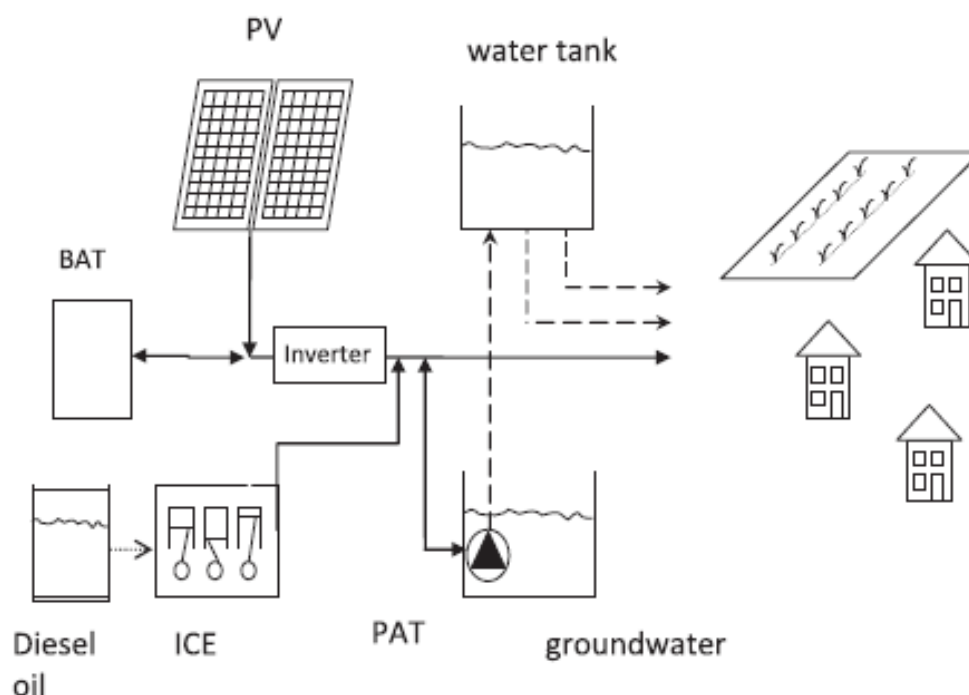
همانطور که در نمودار شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است راندمان انرژی قابل استفاده در پیک توان‌های بالاتر اتفاق نمی‌افتد. مقدار راندمان ماکسیمم به ازای هدهای بالاتر در پیک توان‌های بالاتری اتفاق می‌افتد. لویز و همکارانش این تحلیل را به منظور بررسی اقتصادی انجام داده‌اند. طرح ارایه شده و مدل‌سازی صورت گرفته بر اساس آن مورد تست و ارزیابی عملی قرار نگرفت.

رکا و لویز لوکیو [۳۳] به آنالیز امکان‌پذیری استفاده از جزیبندی در آبیاری قطره‌ای با استفاده از پمپ خورشیدی پرداخته است. در واقع آنها این مساله را مورد ارزیابی قرار دادند که استفاده از چند جز برای آبیاری قطره‌ای با استفاده از تابش خورشید بهینه می‌باشد. تاثیر روشن کردن موتورها و اضافه شدن به مسیر بر حسب توان ورودی به ترتیب مورد ارزیابی قرار گرفت. آنها به این نتیجه رسیدن با توجه به نوع محصول در اختیار استفاده از چهار جز برای آبیاری هر هکتار مقدار بهینه می‌باشد. در شکل ۲-۱۲ طرح جزیبندی آورده شده است.



شکل ۱۲-۲ طرح آبیاری قطره ای با پمپ خورشیدی با شش جزیندی [۳۳]

استوپاتو و همکارانش از روش بهینه‌سازی PSO به منظور بهینه‌سازی سیستم پمپ فتوولتاییک به همراه ترکیبی از سیستم های تامین توان پمپ مانند باتری، موتور احتراقی به همراه تانک ذخیره بهره بردند [۳۴]. در طرح ارایه شده، پمپ قابلیت ایجاد توان را به صورت توربین دارد. در این شرایط قادر خواهد بود که باتری‌های موجود را شارژ نماید.



شکل ۱۳-۲ طرحواره‌ای از سیستم ارایه شده توسط استوپاتو (خط پر نمایگر مسیر آب و خط چین نمایشگر مسیر آب) [۳۴]

استوپاتو از دو تابع هدف متفاوت به منظور بهینه‌سازی به روش ازدحام ذرات استفاده نمود و تاثیر آن را بر بهینه‌سازی قسمت‌های مختلف بررسی کرد. بر این اساس تابع هدف اول به منظور کاهش هزینه کل سیستم و تابع هدف دوم به منظور استفاده کامل از انرژی پاک مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی‌ها به این نتیجه منجر شد که برای مورد مطالعه صورت گرفته در صورت بهینه‌سازی براساس هزینه مقدار ابعاد صفحات فتوولتاییک برابر با ۱۰۰۴ متر مربع، توان موتور احتراقی برابر با ۲۷ کیلووات، مقدار ظرفیت باتری ذخیره ۱۵۰۵ کیلووات ساعت و توان پمپ ۳ کیلووات می‌باشد. در صورت استفاده از تابع بهینه به نحوی که مقدار استفاده از موتور احتراقی صفر گردد مقدار ابعاد پنل فتوولتاییک مورد نیاز ۱۷۷ متر مربع، ظرفیت باتری ۸۸ کیلووات ساعت و توان پمپ برابر با ۲۱ کیلووات خواهد شد.

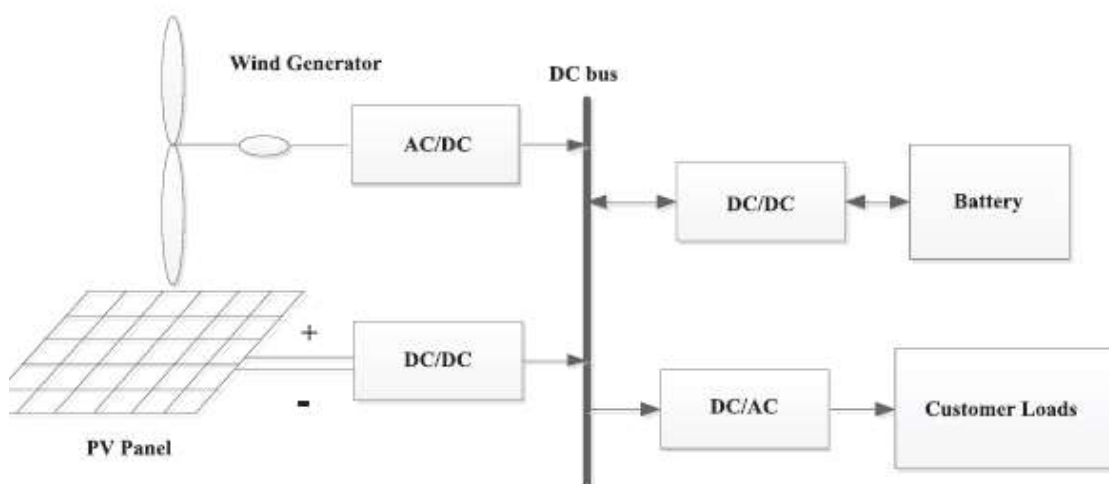
هامیدت و همکاران بهینه‌سازی پمپ فتوولتاییک با در نظر گرفتن کمینه کردن تابع احتمال از دست دادن بار انجام دادند [۳۵]. این تحقیق به منظور تامین آب شرب روستای کوچک در الجزیره صورت گرفته است. در زمان استفاده از سیستم پمپ فتوولتاییک به منظور تامین آب شرب، یکی از مسایل مهم، احتمال از دست دادن آب شرب برای ساکنین روستا می‌باشد. عموماً مسایل تامین آب شرب با استفاده از پمپ فتوولتاییک را با در نظر گرفتن تابع هزینه بهینه می‌کنند. هامیدت در این تحقیق از فلوچارتی ریاضی به منظور بهینه‌سازی کم کردن احتمال از دست دادن بار در کنار کاهش هزینه استفاده نموده است. در این تحقیق احتمال از دست دادن بار را به صورت نسبت مجموع زمان‌های از دست دادن آب به ضرب تعداد روز در متوسط نیاز آبی روزانه تعریف نموده است.



شکل ۱۴-۲ تجهیزات تست آزمایشگاهی سیستم پمپ فتوولتاییک هامیدت به منظور بهینه‌سازی احتمال از دست دادن بار

هامیدت بر اساس داده‌های آزمایشگاهی برای چهار محل مختلف در الجزیره تست‌ها را انجام داده است. نتایج نشان داد که مقدار هد و مقدار حداکثر توان صفحات فتوولتاییک تاثیر بسیار زیادی بر میزان احتمال از دست دادن بار خواهد داشت در صورتی که پروفیل مصرف آب و تعداد روزهای خودمختاری سیستم تاثیری کمی بر کمبود نسبی دارد.

ملکی و همکاران [۳۶] به بررسی بهینه‌سازی اندازه سیستم ترکیب پنل خورشیدی و توربین باد و باتری پرداختند. آنها تکنیک‌های مختلف الگوریتم ازدحام ذرات، شامل ازدحام ذرات پایه^۱، ازدحام ذرات بر پایه ضریب دفع^۲، ازدحام ذرات با ضریب انقباض^۳، ازدحام ذرات بر پایه وزن اینرسی انطباقی^۴ برای بدست آوردن مقادیر بهینه انجام دادند. اندازه بهینه سیستم تحت شرایط عملکردی متفاوت با استفاده از اطلاعات زمانی و داده‌های هواشناسی در سه نقطه مختلف ایران بدست آمد. نتایج بررسی آنها نشان داد که روش PSO-CF نتایج امیدوارکننده‌تری نسبت به روش‌های دیگر از لحاظ مقدار هزینه کل سالانه دارد.



شکل ۱۵-۲ نمایش سیستم هیبرید باد، پنل خورشیدی و باتری به همراه بار مصرفی [۳۶]

کیم و همکارانش [۳۷] با استفاده از الگوریتم رهگیری بیشترین نقطه‌ی توانی و با بکار بردن پمپ شارژ تنظیم روشی برای دریافت نور خورشید در محیط درون خانه بکار بردند. این روش و مدار طراحی شده برای دریافت انرژی در روزهای ابری مفید خواهد بود. در این روش که به جای استفاده از نقطه توان ماکسیمم از مفهوم

¹ PSO

² PSO Base on Repulsion Factor

³ PSO with Constriction Factor

⁴ PSO with Adaptive Inertia Weight

نقطه توان بهینه استفاده شده و با تکنیک‌های الکترونیکی سعی در افزایش راندمان از میزان نور محیط شده است.

روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسایل که دارای متغیرهای غیرخطی پیچیده بوده کاربرد دارد، این روش می‌تواند جواب بهینه را با بیشترین احتمال ارایه کند. به جای استفاده از یک نقطه طراحی از جمعیتی از نقاط استفاده می‌گردد. این روش شامل اصول ژنتیک طبیعی و انتخاب طبیعی می‌باشد. طالبی زاده و همکاران از این روش برای بدست آوردن زاویه بهینه ساعتی، روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه برای کشور ایران انجام دادند و به سه نتیجه مهم دست یافتند [۳۸]:

۱- زاویه صفر زاویه سمت بهینه ساعتی نمی‌باشد.

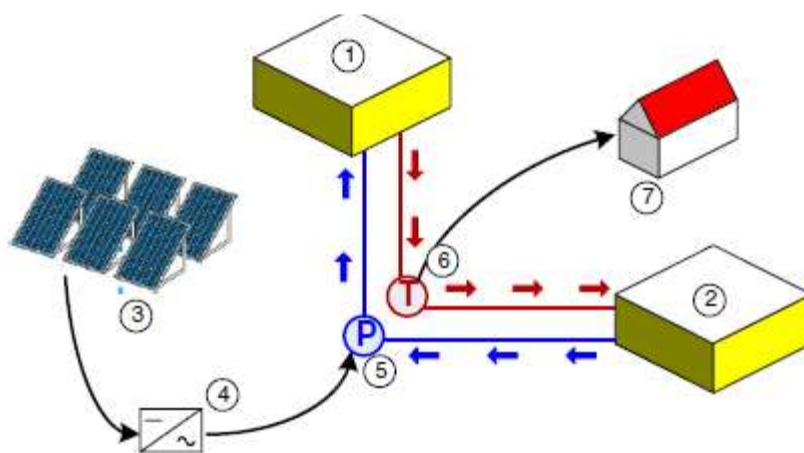
۲- زاویه شیب بهینه پنل‌های فتوولتاییک و کلکتورهای خورشیدی مشابه می‌باشند.

۳- زاویه شیب بهینه پنل به صورت روزانه و ماهانه مشابه هم می‌باشد، اما زاویه شیب بهینه به صورت ساعتی متفاوت می‌باشد و نشان‌دهنده این موضوع است که استفاده از ردیاب خورشیدی می‌تواند تاثیر زیادی بر عملکرد جذب انرژی خورشید داشته باشد.

اسکوزک [۳۹] و همکارانش ۵ تکنولوژی مختلف در زمینه‌ی سلول خورشیدی را در معرض تست قرار دادند و بعد از ۱۳۰ ساعت قرار گرفتن در معرض خورشید نشان داد که ماژول‌های CIS بیش از ۲۰ درصد کاهش عملکرد، ماژول‌های آمورفوس سیلکونی ۶۰ درصد و ماژول‌های کریستالی و مونو کریستال تغییری در مقدار توان خروجی نداشتند.

سواً و همکارانش [۴۰] نشان دادند که ماژول‌های چند کریستالی مقدار درصد پیری کمتری نسبت به ماژول‌های مونوکریستالی دارند. مقدار کاهش عملکرد نزدیک به ۰/۵ درصد بر سال در شرایط آب و هوایی کشور آلمان است.

تاو ما از یک سیستم تامین آب فتوولتایک با دو مخزن یکی در ارتفاع و دیگری در پایین به منظور تامین آب در زمان شب و عدم تابش مناسب استفاده نمودند [۴۱]. آنها برای بهینه‌سازی اندازه طرح از روش الگوریتم ژنتیک بدین منظور استفاده کردند. تابع هدف مورد استفاده در این طرح بهینه‌سازی هزینه انرژی^۱ (COE) تراز شده می‌باشد.



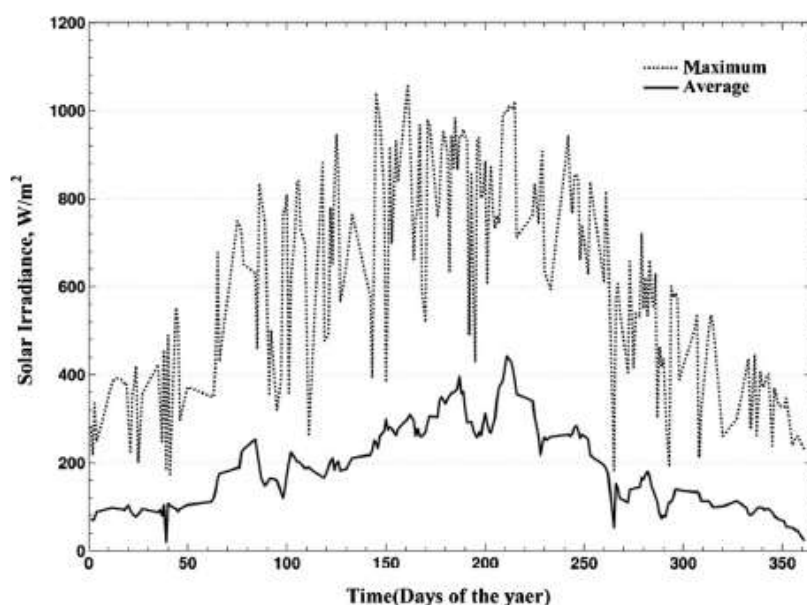
شکل ۱۶-۲ شماتیکی از طرح تاو ما و مدل‌سازی بر اساس الگوریتم ژنتیک

سیستم پمپ فتوولتایک تمایل دارد که به سمت پیری^۲ و کاهش عملکرد به واسطه‌ی رطوبت، دما، تاثیر بایاس سیستم و تابش خورشیدی حرکت کند. در طول زمانیکه سیستم به صورت طولانی مدت در معرض شرایط بیرون قرار داشته مقدار راندمان پنل به واسطه‌ی عمر عناصر تشکیل‌دهنده‌ی سلول خورشیدی کاهش می‌یابد. پیری مواد تشکیل‌دهنده‌ی سلول خورشیدی بر عملکرد کل سیستم پمپ خورشیدی تاثیرگذار است، درحالیکه انتظار می‌رود سیستم پمپ فتوولتایک به مدت ۲۰ الی ۲۵ سال عمر مفید داشته باشد. بنابراین در نظر گرفتن تاثیر این مساله در سیستم پمپ فتوولتایک حایز اهمیت است. در این راستا مطالعات تجربی زیادی در زمینه‌ی کاهش عملکرد سیستم در اثر پیری انجام شده است.

¹ Cost of Energy

² Aging

نقاش زادگان و همکارانش [۴۵] تحلیل فنی-اقتصادی استفاده از آبیاری خورشیدی برای آبیاری مزارع برنج در استان گیلان ارایه کردند. آنها از داده‌های تابش سنج اداره هواشناسی گیلان استفاده کرده و بر اساس روابط اولیه به برآورد و تحلیل از مطالعه موردی خود پرداختند. آنها شاخص صافی ماهانه هوا را برای روزهای گرم سال براساس داده‌های هواشناسی برابر با ۰/۵ در نظر گرفتند. بر اساس تحلیل صورت مقدار هزینه اولیه پمپ خورشیدی نسبت به سیستم پمپ متداول ۷ برابر بیشتر بوده، اما پس از ۹ سال هزینه هر دو با هم برابر می‌گردد و پس از آن هزینه استفاده از پمپ خورشیدی به صرفه‌تر از پمپ‌های متداول است. استفاده از آبیاری قطره‌ای باعث کاهش میزان دبی آب مورد نیاز برای گیاه شده و به واسطه‌ی کاهش سطح توان مورد نیاز باعث کاهش زیرسیستم‌های آن می‌گردد. اما در بررسی نقاش زادگان به واسطه مطالعه موردی در مورد برنج این مساله نادیده گرفته شد. تحلیل آنها صرفاً از نگاه امکان‌سنجی فنی اقتصادی بوده و مسایل مربوط به بهینه‌سازی و جزییات مربوط به آن بررسی نگردید.



شکل ۱۷-۲ ماکسیمم و متوسط شدت تابش خورشید (داده‌های اندازه گیری شده اداره هواشناسی گیلان) [۴۵]

لیو و همکاران مدلی برای پیش بینی میزان تبخیر و تعرق خاک به منظور استفاده از پمپ خورشیدی ارائه نمودند. بررسی‌ها نشان داد که محل مورد نظر از لحاظ تامین آب مناسب است اما به واسطه شرایط چسبندگی خاک میزان شارژ آب در چاه نسبت به میزان آب پمپ شده کمتر است [۵۰].

در [۵۱] مطالعه یک مدل کاربردی برای سیستم ذخیره سازی یکپارچه پمپ فتوولتائیک، ایجاد کرده است که از یک بهینه‌سازی دو منظوره استفاده می‌کند. در این مدل حداکثر رساندن مزایای تولید برق و حداقل نمودن عدم تعادل انرژی را در همان زمان به عنوان اهداف بهینه سازی می‌باشد. بهینه سازی دو هدف با استفاده از ژنتیک انجام شد. زوین و همکاران [۵۲] مدلی برای پیش بینی نرخ آبدهی چاه آب با وجود پمپ خورشیدی و نبود پمپ ارائه نمودند و در سایت مد نظر مقادیر چاه را اندازه گیری نمودند و میزان دقت مدل را ۹۷ درصد پیش بینی نمودند.

چیلاندو و همکاران [۵۳] مدل ریاضی دینامیکی به منظور بررسی میزان تامین برق برای آبیاری توسط پمپ و استفاده از سایر تقاضاهای برق در فازهای مختلف رشد گیاه ارائه نمودند. نیکزاد و همکاران [۵۴] بررسی فنی اقتصادی سیستم پمپ خورشیدی متصل به شبکه برق به منظور پمپاژ آب مزارع برنج در فصل آبیاری و تولید برق برای شبکه در فصول غیرآبیاری را بررسی نمودند.

الگوریتم بهینه‌سازی چندبخشی مبتنی بر PSO اعمال شده برای طراحی بهینه سیستم های متصل به شبکه فتوولتائیک (PVGCS) ارائه شده است [۵۵]. روش پیشنهادی در نظر دارد تعداد بهینه دستگاه های سیستم و جزئیات نصب ماژول PV بهینه را به گونه ای ارائه دهد تا منافع اقتصادی و زیست محیطی حاصل در طول عمر عملیاتی سیستم هر دو به حداکثر رسیده است.

اولکان [۵۶] مدل بهینه سازی فنی و اقتصادی برای تعیین بهینه ظرفیت اجزای سیستم پمپاژ آب PV با استفاده از مخزن ذخیره آب پیشنهاد شده است. مدل پیشنهادی با توجه به قابلیت اطمینان و شاخص های

هزینه ، که به ترتیب کمبود احتمال منبع تغذیه و هزینه های چرخه عمر هستند ، تهیه شده است. بکلی و همکاران [۵۷] به بهینه سازی سیستم پمپ خورشیدی بر اساس دو معیار احتمال از دست دادن بار به عنوان پارامتر قابلیت اطمینان و هزینه چرخه عمر محصول به عنوان معیار اقتصادی پرداختند.

. ایوب حسین و همکاران [۵۸] مناسب بودن فنی و اقتصادی آبیاری خورشیدی برنج و محصولات دیگر را بررسی نمودند. بررسی تجربی آنها نشان داد که آبیاری به استفاده از سیستم پمپ خورشیدی برای برخی از محصولات مانند گندم مناسب است، اما برای برنج مناسب نمی باشد. پرورش و همکاران [۵۹] به مقایسه هزینه‌ای سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از پمپ خورشیدی و پمپ‌های متداول برای شرایط جنوب ایران پرداختند. زاوالا و همکاران [۶۱] روشی برای بهینه سازی سیستم پمپ خورشیدی با آبیاری به صورت چند قطاع ارایه نمودند. آنها با در نظر گرفتن روش آبیاری نقضانی^۱ که به منظور کاهش مصرف آب حتی در صورت کم محصولی می باشد یک روز برای بهینه سازی ارایه نمودند. تابع کمترین مقدار نقصان در هر قطاع از آبیاری به عنوان تابع هدف معرفی گردید.

خیارالدین و همکاران آنالیز فنی و اقتصادی استفاده از باتری اسید سرب و لیتیم یون در سیستم پمپ فتوولتاییک را بررسی و نتیجه گرفتن باتری لیتیم یون از لحاظ فنی و اقتصادی بهتر از باتری اسید سرب هستند [۶۲]. آبهیلاش و همکاران تاثیر ردیاب تک محوره را در سیستم پمپ خورشیدی جهت آبیاری بررسی کردند [۶۳]. شایک و همکاران [۶۴] افزایش راندمان سیستم را با استفاده از ردیاب و درایور فرکانس متغیر بررسی کردند.

¹ Irrigation Deficit

یایچی و همکاران روش تجربی جهت پیش بینی پمپ خورشیدی در هدهای مختلف انجام دادند [۶۵]. موسوی و همکاران روش نوین پمپ فتوولتائیک به همراه سیستم ذخیره انرژی در کاربرد شبکه کوچک ارایه و تست نمودند [۶۷].

۲.۵. جمع بندی پیشینه تحقیق

تحقیقات در زمینه استفاده از پمپ‌های خورشیدی در حوزه های مختلف آن صورت گرفته است. در زمینه استفاده از پمپ خورشیدی و ترکیب آن با آبیاری قطره‌ای مطالعات زیادی انجام نگرفته است. کارهای ارایه شده در این زمینه دارای نقاط ضعف و قوتی بوده که در فصل بررسی مطالعات پیشین به آن اشاره شده است. رساله حاضر بر پایه ایده مدل سازی، بهینه سازی و انجام تست تجربی بر روی یک سیستم تلفیق پمپ خورشیدی متصل به آبیاری قطره‌ای به صورت کوپل مستقیم می باشد. این ایده نیازمند شبیه سازی کامل از اجزا به منظور افزایش سطح هوشمندی و بهینه سازی سیستم است. رابطه جدید براساس مدل که قابلیت تخمین تابش شروع کارکرد پمپ ارایه شده است. یکی از ایده های نو در این رساله ارایه روش بهینه سازی به روش ازدحام ذرات به منظور بهینه نمودن متغیرهای طراحی بر پایه تخمین میزان نیاز آبی درخت می باشد.

برجستگی های رساله حاضر شامل:

۱- مدل سازی جامع بلادرنگ از سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از پمپ فتوولتائیک

۲- ارایه روش کارا، کم هزینه و هوشمند در زمینه استفاده از پمپ فتوولتائیک با شبکه توزیع قطره‌ای

۳- بررسی تجربی روش جدید آبیاری قطره‌ای مزارع در شرایط تابش کم

۴- ارایه رهیافت جدید بهینه سازی سیستم پمپ خورشیدی به روش ازدحام ذرات

جدول ۱-۲- جمع بندی مشخصات تحقیقات پیشین

عنوان مقاله	سال انتشار	توان پنل	توان پمپ	نحوه کوپل			نوع پمپ		نوع کاربری	موقعیت پنل			مدل سازی			بهینه سازی		ملاحظات
				کوپل مستقیم	کوپل با باتری	مخزن	جابجایی مثبت	گریز از مرکز		ثابت	سه وضعیتی	ردیاب	پنل	پمپ	مدل تابش	فنی	اقتصادی	
	2020			✓					✓	✓								
Optimal management of a multisector standalone direct pumping photovoltaic irrigation				✓														
Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards	2015			✓														
Feasibility analysis of a standalone direct pumping photovoltaic system for irrigation in Mediterranean	2016			✓			✓		✓	✓				✓		✓		✓
Monitoring and evaluation of a direct Coupled Photovoltaic Pumping System	2008	84	94	✓			✓			✓								
New approaches on the optimization of directly coupled PV Pumping Systems	2004			✓				✓						✓	✓			
Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards	2015													✓	✓			
Performance of a directly-coupled PV water pumping system	2011	1500		✓				✓						✓	✓			
PERFORMANCE PREDICTION OF A PROPOSED PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM AT SOUTH SINAI, EGYPT CLIMATE CONDITIONS	2009			✓										✓	✓	✓		
PV system sizing using observed time series of solar radiation	2006															✓		

بهینه‌سازی سیستم پمپ خورشیدی و مطالعه تجربی آن بر اساس اقلیم معتدل شمالی (مطالعه موردی شهرستان بابل)

																	1996	DEVELOPMENT OF A PHOTO-VOLTAIC PUMPING SYSTEM USING A BRUSHLESS D.C. MOTOR AND HELICAL ROTOR PUMP
														√	120	110	2012	Performances study of different PV powered DC pump configurations for an optimum energy rating at different heads under the outdoor conditions of a desert area
									√				√				2015	Sizing of off-grid renewable energy systems for drip irrigation in Mediterranean crops
															110	148	2015	Solar powered micro-irrigation system for small holders of dryland agriculture in India
																	2009	Solar powered pumps to supply water for rural or isolated zones: A case study
											√				200	220	1997	TECHNICAL EVALUATION OF A LOW-COST, LOW-POWER PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM AND COMPARISON ASSESSMENT WITH A TYPICAL MARKETED PV PUMP
				√				√		√		√		√		2100	2009	Theoretical and experimental analysis of the behavior of a photovoltaic pumping system
hydro storage												√		√			2020	A novel photovoltaic-pumped hydro storage microgrid applicable to rural are
				√				√		√				√	150	150/300	2019	. A fast and simplified method using non-linear translation of operating points for PV modules energy
		√	√	√	√			√						√			2007	A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems

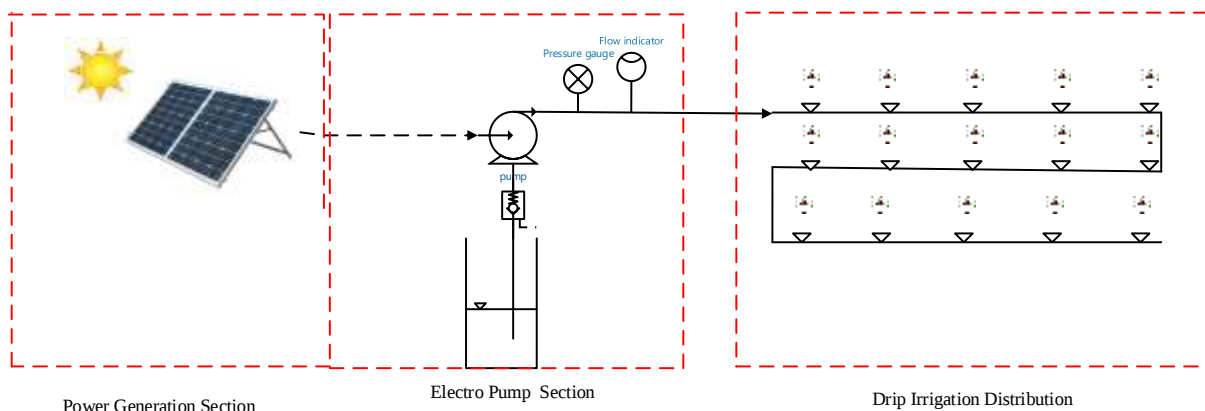
مدل‌سازی ایده مذکور با استفاده از روش تحلیلی صورت خواهد گرفت. بر این اساس طرح مذکور از سه بخش اصلی شامل:

۱- قسمت تامین توان پمپ خورشیدی

۲- پمپ و الکتروموتور

۳- شبکه توزیع قطره‌ای

هر یک از بخش‌ها به صورت زیربرنامه مربوط به خود مدل می‌گردد و اثر هر زیربرنامه به صورت یک جعبه با ورودی و خروجی مشخص می‌گردد. تاثیر این زیربرنامه‌ها و بخش‌ها بر قسمت‌های دیگر در شبیه‌سازی یکپارچه دیده خواهد شد.



شکل ۱۸-۲ شماتیکی از طرح کلی سیستم آبیاری قطره‌ای به همراه پمپ فتوولتائیک

فصل سوم: مدل سازی فنی - اقتصادی، بهینه سازی

۳-۱- روش‌های مدل‌سازی

مدل‌سازی سیستم به عنوان یکی از ارکان مهم در بررسی‌های آزمایشگاهی همواره مطرح بوده است. مدل‌سازی ابتدا در تخمین درست انتخاب اجزا کمک خواهد نمود. از سوی دیگر ایده‌ی استفاده از ترکیب تزریق آب به شبکه توزیع قطره‌ای به منظور افزایش کارایی کل سیستم و هوشمند نمودن سیستم نسبت به میزان تابش دریافتی و انتخاب چیدمان مناسب حایز اهمیت می‌باشد. با توجه به جدید بودن این ایده، مدل آرایه شده بایستی یکپارچه بوده تا بتواند همه اجزا موثر بر طراحی را در نظر بگیرد. به طور کلی از چهار روش برای مدل‌سازی و اندازه دهی به اجزا سیستم پمپ خورشیدی شامل: روش‌های سرانگشتی، روش تحلیلی، روش عددی و روش‌های هوشمند استفاده می‌گردد. در این رساله استفاده از روش هوشمند بر پایه الگوریتم ازدحام ذرات و مبتنی بر بهینه‌سازی پیشنهاد شده که در ادامه به آن پرداخته شده است.

۳-۱-۱- روش‌های سرانگشتی

روش‌های سرانگشتی ساده‌ترین روش محاسبه می‌باشد اما دقت این روش پایین می‌باشد و تخمین اندازه تجهیزات بسیار زیاد می‌باشد. این روش بر اساس تجربه طراح به منظور محاسبه اندازه پنل خورشیدی و میزان ذخیره باتری براساس بدترین شرایط تابش خورشید در طول سال با در نظر گرفتن حاشیه اطمینان می‌باشد. در این روش محاسبات ریاضی ساده استفاده شده و معمولاً تخمین بدست آمده بیش از حد بدست آمده می‌باشد.

۳-۱-۲- روش تحلیلی

روش تحلیلی ساده اما به واسطه استفاده از روابط تجربی برای محاسبه اجزا آرایه پنل خورشیدی دقیق‌تر می‌باشد. در این روش از مدل‌های ریاضی توسعه‌یافته‌ای برای اندازه‌گیری مقدار قابلیت اطمینان و آثار هزینه‌ای بر روی سیستم فتوولتاییک استفاده می‌گردد. در این روش هر یک از قسمت‌های پمپ خورشیدی با استفاده

از مدل ریاضی به صورت جداگانه مدل می‌گردد. برهم‌کنش این بخش‌ها با یکدیگر با در نظر گرفتن هدف از تحلیل مدل گردیده و اثر پارامترهای مختلف دیده می‌شود.

۳-۱-۳- روش عددی

روش عددی از یک برنامه شبیه‌سازی برای محاسبه اندازه قسمت‌های مختلف سیستم پمپ خورشیدی برای بازه‌های زمانی که معمولاً به صورت ساعتی بوده استفاده می‌شود. این روش به محاسبات سنگین و داده‌های مدت‌دار و دقیق هواشناسایی که برخی از نرم‌افزارها مانند PVSYST، Homer، Retscreen و غیره وجود داشته استفاده می‌گردد. این روش به دسته کلی روش‌های آماری^۱ و روش‌های قطعی^۲ تقسیم می‌شود. روش‌های قطعی روش‌های ساده‌تری بوده، اما روش‌های آماری دقیق‌تر و قابل اعتمادترند [۲].

۳-۱-۴- روش‌های هوشمند

روش‌های هوشمند از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند ازدحام ذرات، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و منطق فازی و دیگر روش‌های مربوطه استفاده می‌کنند. این روش‌ها عموماً دقت و قابلیت بالایی از خود نشان دادند و در مواقعی که با کمبود داده‌های ورودی روبرو باشیم می‌تواند کارگشا باشد.

۳-۲- تکنیک مدل‌سازی بکار رفته

مشخصات سیستم مدنظر بر پایه پمپ فتوولتاییکی استوار است که توان مورد نیاز خود برای پمپاژ آب را از صفحات فتوولتاییک دریافت می‌نماید. این پمپ به شبکه توزیع آبیاری قطره‌ای متصل بوده و قادر است آب مورد نیاز را با فشار مناسب به قطره‌چکان‌ها برساند. از سوی دیگر به واسطه تغییر روزانه شدت تابش خورشید مقادیر توان ورودی به سیستم متغیر است.

¹ Stochastic Numerical Method

² Deterministic Numerical Method

مساله مورد نظر جهت بهینه‌سازی از سه بخش اصلی بخش تامین توان ، سیستم پمپ و الکتروموتور و شبکه توزیع آبیاری قطره‌ای می‌باشد. تاثیر تغییر میزان تابش خورشید به عنوان ورودی اصلی بخش توان منجر به تغییر در مشخصات هیدورلیک سیستم می‌گردد.

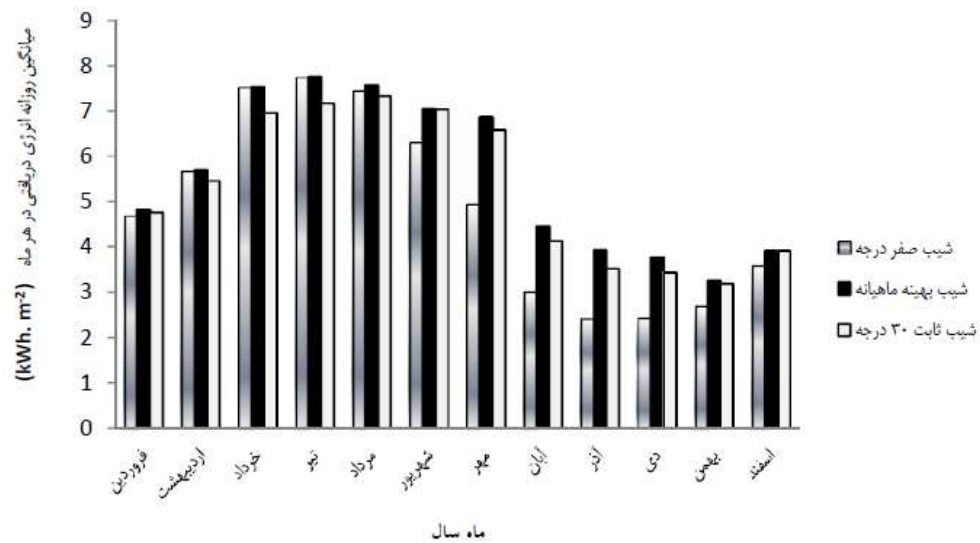
هدف از مدل‌سازی دستیابی به شرایط کارکرد سیستم در شرایط کاری مختلف ترکیبی می‌باشد. به منظور بهینه‌سازی و افزایش مقدار آب تولیدی بایستی مدل رفتاری هر یک از حالات متصور مدل گردد تا الگوریتم بهینه‌سازی بتواند به ازای متغیرهای ورودی مقادیر بهینه را ارایه نماید.

برای مدل‌سازی فرضیات زیر انجام گرفته است:

- تاثیر دما بر مقدار توان خروجی از پنل در نظر گرفته شده است و از تاثیر باد به واسطه‌ی تاثیر قابل صرف‌نظر آن به خصوص در شرایط محل تست صرف نظر می‌شود.
- ضریب زبری اصطکاک داخل لوله را با فرض عدم وجود رسوب در نظر گرفته شده است. اثر تغییرات این ضریب به صورت افزایش سالانه در نظر گرفته خواهد شد.
- با توجه به ساخت مقیاس کوچک از استند تست از اثر غیر یکنواختی در توزیع دبی قطره چکان صرف‌نظر شده است. غیریکنواختی در سیستم قطره ای در واقع نسبت میزان دبی دورترین قطره چکان به میانگین دبی کل سیستم می باشد.
- تاثیر کاهش راندمان پنل‌های خورشیدی و اثر گرد و خاک به خاطر تمیز نمودن دوره‌ای آن توسط کشاورز بر عملکرد آن صرف‌نظر شده است. مقادیر راندمان پنل بر اساس مقادیر ارایه شده توسط سازنده در نظر گرفته می‌شود.
- تاثیر تغییر ارتفاع منبع تامین آب (چاه) اندک و قابل صرف نظر کردن است. مقدار نرخ تامین آب توسط چاه به اندازه‌ای است که پمپ در معرض خشک شدن قرار نمی‌گیرد.

۳-۲-۱- مدل‌سازی انرژی ورودی

کره‌ی زمین انرژی خورشید را به صورت تابش خورشیدی دریافت می‌کند. به طور کلی میزان انرژی تابشی خورشید به دو عامل اصلی وابسته است: الف- زمان: ساعت، روز، روزسال (فصل) ب- مکان: عرض جغرافیایی. علاوه بر این نوع پوشش زمین و شرایط ابرناکی آسمان نیز بر میزان انرژی تابشی دریافتی از خورشید تأثیر دارند. بیشترین انرژی تابشی از خورشید زمانی حاصل می‌شود که پرتوهای خورشید به طور عمودی به سطح مورد نظر بتابند. از آنجایی که خورشید همیشه در آسمان در حال حرکت است و هر روز مسیر متفاوتی را می‌پیماید و به علت تفاوت در زاویه تابش در هر منطقه طی روز و در روزهای مختلف سال، برای دریافت بیشترین انرژی تابشی مجبور به تغییر شیب و جهت دریافت‌کننده‌های خورشیدی از جمله پنل‌های فتوولتائیک هستند. البته در برخی موارد از سیستم‌های ردیاب خورشیدی برای تعقیب کردن لحظه‌ای مسیر خورشید استفاده می‌شود که این روش به دلیل معایب و محدودیت‌هایی، همواره عملی نیست. راهکار جایگزین، استفاده از شیب و جهت بهینه برای نصب صفحات خورشیدی می‌باشد. مقدار آن در مناطق مختلف و در بازه‌های گوناگون سال متغیر می‌باشد. البته برای پنل‌های ثابت در مقایسه با پنل‌های ردیاب که بیشینه تشعشع خورشید را ردگیری می‌نمایند، جهت جنوبی در نیمکره شمالی، منطقی‌ترین جهت به منظور جمع‌آوری تشعشعات خورشیدی است.



شکل ۱-۳ مقایسه بین انرژی استحصالی در ماه‌های مختلف برای شیب صفر، شیب ماهیانه و شیب ۳۰ درجه

در مشهد [۱۱]

همانطور که در نمودار شکل ۱-۳ ملاحظه می‌شود مقادیر انرژی دریافتی در زاویه‌ی شیبدار با مقدار انرژی دریافتی افقی بیشتر خواهد بود. در این رساله زاویه‌ی شیب بهینه به منظور تامین توان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اطلاعات مولفه‌های مختلف تابش خورشیدی بر روی صفحه افقی عموماً در اختیار است و می‌تواند برای محاسبه انرژی دریافتی در صفحات با زاویه استفاده شود. مقدار متوسط تابش روزانه کل ($\bar{H}_T$) شامل مجموع تابش مستقیم ($\bar{H}_b$)^۱، تابش پخش ($\bar{H}_d$)^۲ و تابش برگشت ($\bar{H}_r$)^۳ به صورت زیر می‌باشد:

$$\bar{H}_T = \bar{H}_b + \bar{H}_d + \bar{H}_r \quad (۱-۳)$$

^۱ Beam Solar Radiation

^۲ Diffuse Solar Radiation

^۳ Reflecting Solar Radiation

که معادله رگراسیون تابش متوسط روزانه در ماه آنگستروم که بر اساس تابش خارج از جو Page اصلاح شده است به صورت معادله زیر قابل بیان است [۵].

$$\bar{H}_T = \bar{H}_o \left(a + b \frac{\bar{n}}{N} \right). \quad (2-3)$$

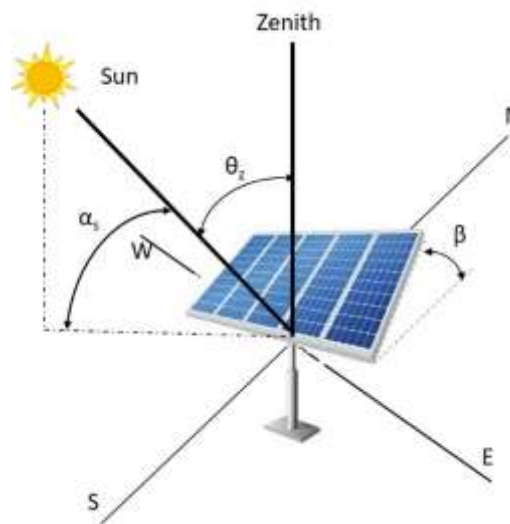
که $\bar{H}_T$ مقدار تابش متوسط روزانه در ماه بر روی صفحه افقی، $\bar{H}_o$ مقدار میانگین روزانه در ماه تابش در خارج از جو می باشد. $\bar{n}$ برابر است با میانگین ساعت آفتابی روزانه، N مقدار حداکثر زمان آفتابی ممکن یا طول روز است که به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\bar{N} = \frac{2}{15} \omega_s \quad (3-3)$$

که ω_s زاویه ساعت غروب در روز وسط ماه می باشد و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (4-3)$$

موقعیت خورشید در آسمان با زاویه خط الراس (θ_z) نشان داده می شود. موقعیت زاویه‌ای خورشید در ظهر خورشیدی را زاویه انحراف گویند (δ) و مقدار آن $23.45 < \delta < 23.45$ می باشد. زاویه بین صفحه سطح و سطح افق زاویه شیب می گویند (β). مقدار انحراف از سطح تصویر شده‌ی افقی نسبت به خط نصف النهار را زاویه آزیموت گویند (γ) و این زاویه آزیموت بین $180 < \gamma < 180$ قابل تغییر است. زاویه ساعت (ω) مقدار جابجایی زاویه‌ای به خاطر چرخش زاویه‌ای زمین به دور محور خود است و به ازای هر ۱۵ درجه برابر با یک ساعت است.



شکل ۳-۲ زاویه خط‌الرأس، شیب، زاویه آزیموت صفحه و زاویه آزیموت خورشید برای سطوح شیب‌دار

مقدار تابش کلی روزانه بر روی سطح افقی به مقدار تابش ماهانه متوسط تعمیم داده شد. تابش کلی ماهانه بر روی سطح افقی به سه دوره آب و هوایی تقسیم شده است. دوره سرد که شامل ماه‌های میلادی نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و دوره گرم سال شامل ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست و همچنین ماه‌های گذار شامل مارس، آوریل، می، سپتامبر و اکتبر می‌باشد. این تقسیم‌بندی به منظور تخمین دقیق‌تر ضرایب تجربی معادله آنگستروم می‌باشد. بعد از اصلاح ضرایب معادله آنگستروم به فرم زیر بیان می‌شود.

$$H = \begin{cases} H_0 \left(0.14 + 0.47 \frac{\bar{n}}{N} \right) & (1 \leq n \leq 59 \quad 305 \leq n \leq 365) \\ H_0 \left(0.24 + 0.4 \frac{\bar{n}}{N} \right) & 152 \leq n \leq 243 \\ H_0 \left(0.36 + 0.23 \frac{\bar{n}}{N} \right) & (60 \leq n \leq 151 \quad 244 \leq n \leq 304) \end{cases} \quad (5-3)$$

مقدار H_0 برای عرض جغرافیایی $+60^\circ$ تا -60° در روز وسط ماه به فرم زیر بدست می‌آید.

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360(n)}{365} \right) \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \delta \sin \phi \right] \quad (6-3)$$

که در رابطه بالا GSC مقدار ثابت خورشیدی و n روز سال است. نسبت تابش کل ساعتی به تابش کل روزانه براساس تابعی از طول روز به شکل زیر تعریف می شود.

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (7-3)$$

مقدار تابش کلی ساعتی بر روی سطح افقی به صورت معادله زیر محاسبه می شود.

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (8-3)$$

که ضرایب a و b به صورت زیر بدست می آیند.

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (9-3)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 \sin(\omega_s - 60)$$

در طراحی سیستم خورشیدی و به منظور افزایش کارایی آن پنل‌ها و دریافت کننده ها در زاویه بالاتر از سطح افقی نصب می گردند. مقادیر تابش بدست آمده بر روی سطح صاف بایستی بر روی سطح زاویه دار محاسبه گردند. فاکتور هندسی R_b این نسبت را به فرم زیر بیان می شود.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (10-3)$$

مقدار فاکتور هندسی در زمان صبح و غروب آفتاب به واسطه اینکه زاویه خط الراس 90° درجه می گردد، لذا مقدار فاکتور هندسی به عدد بینهایت خواهد رسید. در این شرایط میزان تابش خورشید صفر نخواهد بود لذا با توجه به عدد خیلی زیاد فاکتور هندسی، مقدار تابش بر روی سطح شیب دار بسیار زیاد خواهد شد. بهترین

روش برای محدود کردن مقدار فاکتور هندسی انتگرال گیری آن از ω_1 تا ω_2 می باشد. مقدار متوسط R_b به صورت زیر خواهد بود.

$$R_{bave} = \frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \cos\theta \, d\omega}{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \cos\theta_z \, d\omega} = \frac{A + B}{C + D}$$

$$A = \sin\delta \sin(\phi - \beta) \frac{\pi}{180} (\omega_2 - \omega_1)$$

(۱۱-۳)

$$B = \cos\delta \cos(\phi - \beta)(\sin\omega_2 - \sin\omega_1)$$

$$C = \cos\delta \cos\phi(\sin\omega_2 - \sin\omega_1)$$

$$D = \sin\delta \sin\phi \frac{\pi}{180} (\omega_2 - \omega_1)$$

تابش خورشید پخش شده بر روی سطح زاویه دار شامل دو بخش است. تابش پخش از طریق آسمان و تابش پخش برگشتی از زمین می باشد. مقدار نسبت این دو به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$R_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (۱۲-۳)$$

$$R_p = \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (۱۳-۳)$$

۳-۲-۶-مدل سازی پنل فتوولتاییک

رابطه‌ی جریان-ولتاژ برای یک مدل دیود تک سلول به صورت رابطه‌ی زیر می باشد:

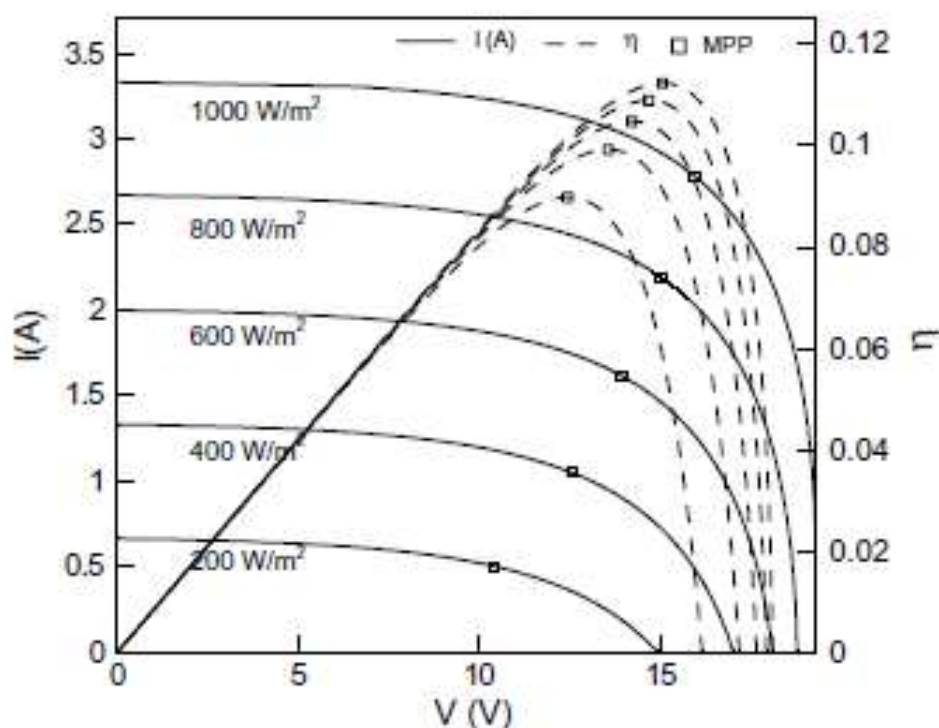
$$I = I_L - I_o \left[\exp \left(\frac{q}{akT_N} (Vpv + IR_s) \right) - 1 \right] - \frac{Vpv + IR_s}{R_{sh}} \quad (۱۴-۳)$$

در رابطه‌ی ۱۴-۳ I_L جریان تولید شده در حالت بی باری، I_o جریان اشباع معکوس دیود، a فاکتور ایده‌آل ساز که بین ۱ تا ۵ تغییر می کند و از مشخصه‌های سلول خورشیدی است و نشان دهنده‌ی میزان انحراف از حالت ایده‌آل است. q شارژ الکترون، k ثابت بولتزمن، T دمای سلول، R_s مقاومت سری و R_{sh} مقدار مقاومت انحرافی

می‌باشد. مقدار R_{sh} زیاد می‌باشد و R_s مقدار کمی دارد و قابل صرف نظر است. مقدار مقاومت برای پنل‌های مونوکریستال که در این مدل‌سازی و تست از آن استفاده می‌گردد بسیار کم می‌باشد و ترم آخر معادله فوق قابل صرف نظر کردن می‌باشد. لذا خواهیم داشت:

$$I = I_L - I_o \left[\exp \left(\frac{q}{akT_N} (V_{pv} + IR_s) \right) - 1 \right] \quad (3-15)$$

اهمیت این معادله به چهار پارامتر ناشناخته (a ، R_s ، I_o ، I_L) در شرایط استاندارد تست بوده و برای هر پنل خورشیدی بر اساس داده‌های خروجی سازندگان آن مشخص می‌باشد. منحنی مشخصه جریان-ولتاژ نمونه ای از پنل با در نظر گرفتن مقدار راندمان آن در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳ منحنی جریان و راندمان بر حسب ولتاژ برای یک پنل خورشیدی نمونه [۱۵]

عملکرد ولتاژ-جریان هر سل به دمای کاری پنل حساس می‌باشد. ولتاژ مدار باز سل‌های سیلیکونی به ازای ۱ درجه افزایش دما در حدود ۲/۳ ولت کاهش می‌یابد که در حدود ۰/۵ درصد به ازای یک درجه دما می‌باشد. به عبارت دیگر جریان مدار باز ثابت می‌ماند، پس می‌توان گفت توان سل با افزایش دما با همان درصد کاهش می‌یابد. دمای سل می‌توان با استفاده از رابطه مارکوارت^۱ تخمین زد [۲]:

$$T_{pv} = T_a + \frac{T_N - 20}{800} G_c \quad (۱۶-۳)$$

که در این رابطه T_a دمای هوای محیط و T_N دمای کاری استاندارد پنل می‌باشد. در واقع T_N دمای سل است وقتی که در حالت مدار باز در دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط $m=1.5$ ، مقدار تشعشع ۸۰۰ وات بر مترمربع و سرعت باد ۱ متر بر ثانیه کار می‌کند. با در اختیار داشتن مقدار دمای سلول می‌توان راندمان پنل خورشیدی را با در نظر گرفتن اثر دما به دست آورد [۲]:

$$\eta_{pv} = \eta_{ref} - 22.4(T_{pv}^{0.25} - 273^{0.25}) \quad (۱۷-۳)$$

مقدار توان تولیدی ساعتی پنل خورشیدی بر اساس میزان توان تابش دریافتی و راندمان پنل خورشیدی قابل محاسبه می‌باشد:

$$P_{pv} = \eta_{pv} A_{pv} I_T \quad (۱۷-۳)$$

تعداد پنل خورشیدی مورد نیاز بر اساس توان پنل‌های استاندارد بدست خواهد آمد:

$$N_{pv} = \frac{P_{pv}}{P_{pv-st}} \quad (۱۸-۳)$$

¹ Markwart

۳-۲-۸- مدل محاسبه هد پمپ

برای محاسبه نقطه کارکرد پمپ نیاز به محاسبه مقدار هد پمپ در سناریوهای پمپاژ مختلف می‌پردازیم. حالت پمپاژ از چاه و تامین فشار مورد نیاز قطره چکان شامل تمامی ترم‌های افت فشار می‌باشد، لذا به روش محاسبه آن می‌پردازیم. مقدار افت فشار دینامیکی کل در این شرایط شامل سه ترم، هد ناشی از تغییر ارتفاع از منبع تامین تا سطح قرارگیری پمپ، افت فشار لوله و اتصالات و فشار مورد نیاز برای قطره‌چکان می‌باشد:

$$H = \Delta z + h_f + h_{drip} \quad (۳-۱۹)$$

مقدار افت فشار اصطکاکی با استفاده از معادله داری و ایسباخ محاسبه می‌گردد:

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (۳-۲۰)$$

مقدار ضریب اصطکاک بر اساس رابطه مشهور هالند محاسبه می‌شود.

$$\frac{1}{f^{0.5}} = -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re_d} + \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (۳-۲۱)$$

مقدار دبی قطره‌چکان تابع نوع قطره‌چکان و فشار پشت آن می‌باشد. رابطه‌ی دبی و فشار پشت قطره‌چکان برای قطره‌چکان‌های با سیستم تقلیل فشار پایین (LPC)^۱ و قطره چکان‌های با سیستم تقلیل فشار قابل باز کردن (OLPC)^۲ به صورت نمایی قابل بیان است [۲۳]:

$$Q_d = K_d h^x \quad (۳-۲۲)$$

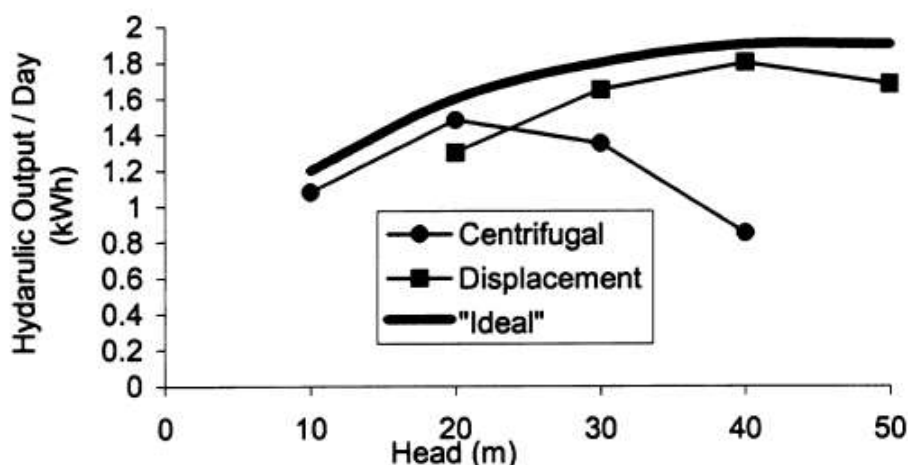
در این رابطه Q_d مقدار دبی آب خروجی از قطره‌چکان، K_d مقدار ضریب قطره‌چکان، x مقدار ضریب نمایی رژیم جریان که تقریباً برابر ۰.۵ در نظر گرفته و h فشار کاری قطره چکان بر حسب متر می‌باشد.

^۱ Low Pressure Compensating

^۲ Openable Low Pressure Compensating

۳-۲-۹- مدل‌سازی پمپ

در توان‌های ورودی پایین انتخاب نوع پمپ (گریز از مرکز یا جابجایی مثبت) بسیار مهم است به واسطه‌ی اینکه این پمپ‌ها مشخصه کاملاً متفاوتی دارند. در شکل ۳-۴ نتایج ریب و هائل را نشان می‌دهد که بیانگر تفاوت‌های انرژی هیدرولیکی خروجی (متناسب ضرب دبی در هد) ایجاد شده توسط دو نوع پمپ می‌باشد [۴۵]. همانطور که در شکل نشان داده است در یک توان مشخص هیچ پمپی نمی‌تواند کل بازه هد را به عنوان یک پمپ ایده‌آل پوشش دهد. در هد پایین‌تر پمپ‌های گریز از مرکز خروجی هیدرولیک بیشتری در روز تولید می‌کنند لذا حجم بیشتری از آب را در روز پمپ می‌کنند.



شکل ۳-۴ مشخصه عملکردی پمپ گریز از مرکز و جابجایی مثبت بر اساس روز آفتابی و با ارایه

فتوولتاییک ۶۰۰ وات [۴۹]

در حالیکه در هدهای بالاتر پمپ‌های جابجایی مثبت غالب هستند. لذا در توان‌های پایین برای پوشش تمام هد یک نوع پمپ وجود دارد.

مدل‌های ریاضی مختلفی برای مدل‌سازی سیستم پمپ مورد استفاده در پمپ فتوولتاییک ارایه شده است. این مدل‌ها بر پایه روابط ریاضی المان‌های پمپ مانند الکتروموتور و پمپ را به یکدیگر ارتباط می‌دهند. این روابط توان هیدرولیک خروجی پمپ را با استفاده از راندمان پمپ به توان ورودی پمپ ارتباط می‌دهند. با توجه به

اینکه راندمان پمپ در عملکردهای مختلف دبی و هد متفاوت می‌باشد، لذا این مدل‌ها دارای خطا در استفاده می‌باشد. در واقع مدل ریاضی پمپ بایستی قادر باشد به خوبی منحنی عملکرد پمپ را در شرایط کاری مختلف تخمین بزند. یکی از مدل‌های قوی برای شبیه‌سازی رفتار پمپ در شرایط کوپل با انرژی خورشید، مدل ارایه شده توسط هامیدت است [۲۸]. ویژگی اصلی این مدل این است که رفتار پمپ را به صورت مستقیم به مقدار توان ورودی از پنل فتوولتاییک ارتباط می‌دهد [۴۹]. معادله مدل پمپ به فرم زیر خواهد بود:

$$P_a(Q, H) = a(H)Q^3 + b(H)Q^2 + c(H)Q + d(H) \quad (23-3)$$

ضرایب $a(H)$, $b(H)$, $c(H)$, $d(H)$ تابع هد کل پمپ می‌باشند و به صورت زیر بیان می‌شود [47]:

$$a(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3$$

$$b(H) = b_0 + b_1H + b_2H^2 + b_3H^3 \quad (24-3)$$

$$c(H) = c_0 + c_1H + c_2H^2 + c_3H^3$$

$$d(H) = d_0 + d_1H + d_2H^2 + d_3H^3$$

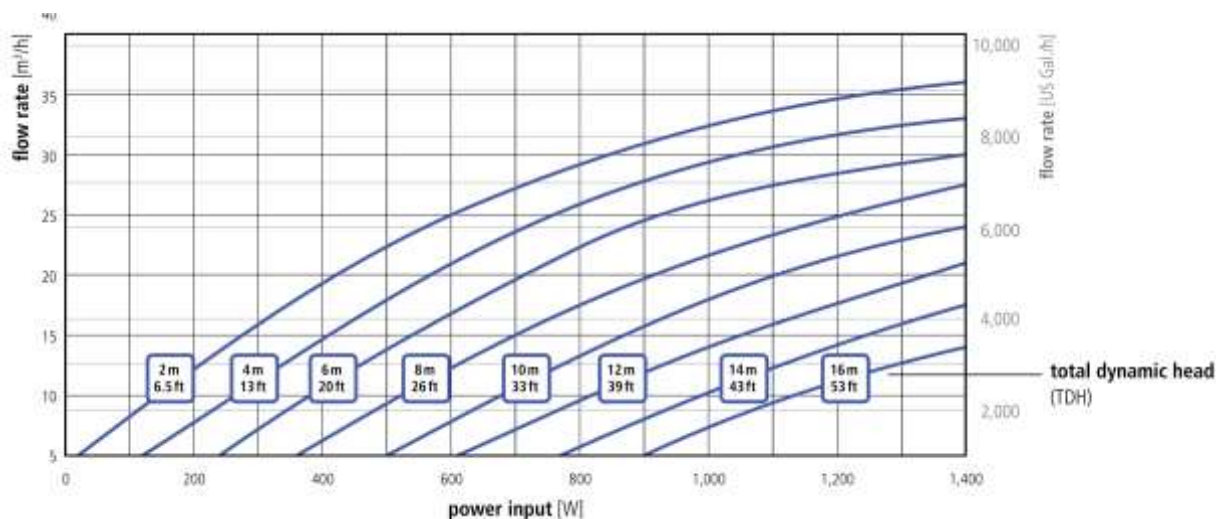
ضرایب ثابت معادله پارامترهای مدل می‌باشند و به مشخصات پمپ وابسته هستند. برای بدست آوردن دبی پیوسته با توجه به توان تولیدی توسط صفحات فتوولتاییک با استفاده از روش نیوتن-رافسون و با این قید که $d - P_a > 0$ بدست می‌آید. مقدار دبی در تکرار k برابر است با:

$$Q_k = Q_{k-1} - \frac{F(Q_{k-1})}{F'(Q_{k-1})} \quad (25-3)$$

که $F'(Q_{k-1})$ مشتق تابع $F(Q_{k-1})$ است و تابع $F(Q_{k-1})$ به صورت زیر است:

$$F(Q_{k-1}) = aQ_{k-1}^3 + bQ_{k-1}^2 + cQ_{k-1} + d - p_a \quad (26-3)$$

در شکل ۴-۶ نمونه‌ای از منحنی عملکرد پمپ گریز از مرکز شرکت Lorentz آورده شده است.



شکل ۳-۵ منحنی عملکرد پمپ گریز از مرکز مدل PS1800 CS-36-1 شرکت Lorentz

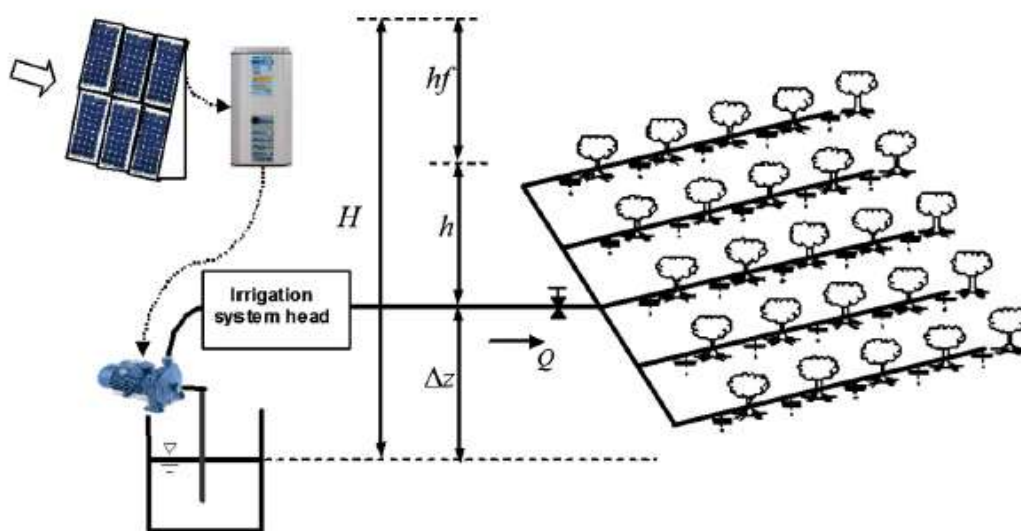
۳-۳-۳ مدل دستیابی به آستانه پمپاژ

در سیستم آبیاری پمپ وظیفه ایجاد فشار به شبکه توزیع را بر عهده دارد. در سیستم کوپل مستقیم مقدار دبی تخلیه بسیار به مقدار توان تولیدی توسط پنل‌های خورشیدی وابسته است. در واقع در سیستم پیشنهادی استفاده از پمپ و شبکه توزیع با قطره چکان غیر جبرانی مدنظر می‌باشد. سیستم قطره چکان غیر جبرانی دارای قابلیت تغییر مقدار دبی با تغییر فشار کاری می‌باشد.

به منظور محاسبه نقطه کار پمپ (رابطه هد و دبی) به صورت تابعی از مقدار توان تولیدی سیستم فتوولتائیک، مدل کاربردی اما قابل بیان برای بازه بسیار زیادی از سیستم‌های توزیع استفاده شده است. مقدار کل هد (H) که بایستی بوسیله پمپ برای تامین دبی تخلیه تامین شود به صورت رابطه زیر قابل بیان است:

$$H = \Delta z + h_f + h \quad (3-27)$$

Δz مقدار ثابتی است که نشانگر تغییرات ارتفاع از منبع تامین آب تا سطح زمین، h_f مقدار افت فشار کلی در سیستم توزیع و h فشار متوسط بر روی قطره چکان می باشد.



شکل ۳-۶ فشار مورد نیاز پمپ در سیستم قطره ای [32]

افت فشار در یک برنامه ساده می تواند به صورت تابعی از مقدار دبی تخلیه بیان شود. با فرض برقرار بودن جریان مغشوش، می توان افت فشار را به صورت توان دوم دبی بیان کرد.

$$H_f = R_s \cdot Q^2 \quad (28-3)$$

در این معادله R_s ضریب مقاومت معادل سیستم آبیاری (شامل افت فشار در شبکه یکنواخت در لوله و افت فشار محلی) و Q مقدار دبی تخلیه سیستم پمپ می باشد. دبی تخلیه سیستم قطره چکان غیرجبران ساز تابعی از فشار کاری می باشد. رابطه بین این دو متغیر به صورت زیر می باشد:

$$q = k \cdot h^x \quad (29-3)$$

که k ضریب تخلیه قطره چکان که مقدار ثابتی بوده و بستگی به واحد مورد استفاده دارد. h مقدار هد فشار کاری در قطره چکان، x توان نمایی تخلیه قطره چکان (بدون بعد) می باشد. قطره چکان معمول دارای پیچ و

خم بوده و جریان داخل آن از نوع مغشوش می‌باشد و این ضریب به عدد $0/5$ نزدیک می‌باشد [۳۲]. مقدار متوسط h در این کار در نظر گرفته و از تغییرات هیدرولیک صرف نظر می‌گردد. مقدار دبی تخلیه کل از جمع دبی هر یک از قطره چکان‌ها بدست می‌آید.

$$Q = q \cdot n_e = n_e \cdot k_d \cdot h^x \quad (3-30)$$

با استفاده از معادلات بالا، مقدار متوسط فشار در قطره چکان می‌تواند با مقدار کل دبی با استفاده از معادله زیر بیان شود:

$$h = \left(\frac{1}{n_e k_d} \right)^2 Q^2 = K \cdot Q^2 \quad (3-31)$$

که K مقدار ضریب تخلیه معکوس کل قطره چکان در شبکه آبرسانی است و با جایگزاری در معادله ۴-۴۴ مقدار هد کل برابر خواهد شد با:

$$H = \Delta z + (R_s + K) \cdot Q^2 \quad (3-32)$$

بر این اساس رابطه بین مقدار هد و بیشترین دبی و مقدار هد و دبی در نقاط دیگر مشخص می‌گردد.

$$\frac{H_i}{H_m} = \frac{\Delta z + (R_s + K) Q_i^2}{\Delta z + (R_s + K) Q_m^2} \quad (3-33)$$

در این رابطه مقدار H_m و Q_m هد و بیشترین دبی پمپ بوده زمانی که در ماکسیمم سرعت پمپ می‌باشد. H_i و Q_i مقدار هد و دبی در سرعت کاری نقاط دیگر می‌باشد. اگر فرض کنیم که Δz در مقایسه با دو ترم دیگر که وابسته به دبی تخلیه بوده کوچک باشد، معادله بالا به شکل زیر ساده خواهد شد:

$$\frac{H_i}{H_m} \approx \frac{Q_i^2}{Q_m^2} \quad (3-34)$$

معادله بالا نشان می‌دهد که برای پمپ‌های دور متغیر، منحنی کار تقریباً با منحنی برابری راندمان^۱ که از قانون پمپ‌ها بدست می‌آید صادق است. با بکار بردن قانون پمپ‌ها رابطه بین توان و دبی تخلیه بدست می‌آید.

$$Q_i = Q_M \left(\frac{P_i}{P_M} \right)^{1/3} \quad (35-3)$$

سرعت پمپ به صورت تابعی از دبی تخلیه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$N_i = N_M \left(\frac{Q_i}{Q_M} \right) \quad (36-3)$$

سرعت نسبی (N_i/N) بایستی به صورت تابعی از فشار مجاز قطره‌چکان محدود گردد. نسبت کمترین فشار قطره‌چکان به بیشترین فشار قطره‌چکان را برابر r_h در نظر می‌گیریم. بنابراین برای نسبت دبی‌ها و فشارها خواهیم داشت:

$$\frac{h_m}{h_M} = \frac{K \cdot Q_m^2}{K \cdot Q_M^2} = r_h \quad (37-3)$$

با بکار بردن قانون وابستگی پمپ‌ها معادلات زیر را خواهیم داشت.

$$\frac{N_m}{N_M} = \frac{Q_m}{Q_M} = \sqrt{r_h}$$

$$\frac{H_m}{H_M} = \frac{Q_m^2}{Q_M^2} = r_h \quad (38-3)$$

$$\frac{P_m}{P_M} = \left(\frac{H_m}{H_M} \right)^{3/2} = r_h^{3/2}$$

¹ Equal efficiency curve

بنابراین پاسخ سیستم پمپ اگر بخواهد به شبکه توزیع قطره‌ای تزریق کند به صورتی تابعی از توان ورودی از صفحات فتوولتاییک می‌تواند به صورت زیر مدل گردد [32]:

$$A) \text{ IF } P < P_m = \frac{P_M}{3} \rightarrow Q_2 = 0$$

(۳۹-۳)

$$B) \text{ IF } P_m \leq P \leq P_M \rightarrow Q = Q_N \left(\frac{P_i}{P_M} \right)^{1/3}$$

$$C) \text{ IF } P > P_M \rightarrow Q_2 = Q_M$$

وقتی توان تولیدی سیستم فتوولتاییک کمتر از مقدار توان مینیمم مورد نیاز باشد (مورد A) به خاطر اینکه فشار مورد نیاز برای قطره‌چکان تامین نمی‌گردد لذا پمپ عمل نخواهد کرد. در این شرایط توان تولیدی سیستم فتوولتاییک هدر می‌رود. وقتی سیستم در حالت B قرار می‌گیرد پمپ شروع به کار می‌کند و سرعت نسبی موتور متناسب با توان سوم نسبت توان خواهد بود. آب تولیدی در این شرایط آب مورد نیاز محصولات کشاورزی تامین می‌گردد. در حالت C، پمپ در ماکسیمم توان خود کار خواهد کرد و توان بیشتر از مقدار بیشترین تلف خواهد شد.

بازه فشار کاری برای قطره چکان با جریان مغشوش استفاده شده در سیستم عمومی آبیاری قطره‌ای بین ۵ تا ۲۰ متر آب می‌باشد. برای این بازه‌ی فشار نسبت مینیمم و بیشترین فشار (I_h) برابر با ۱/۴ خواهد بود. مقدار توان فتوولتاییک مینیمم مورد نیاز برابر خواهد بود با [۳۳]:

$$P_{PV_min} = \frac{1}{8} \frac{P_M}{\eta_{mp}} \quad (۴۰-۳)$$

بر اساس رابطه بالا مقدار توان فتوولتاییک مینیمم برای اینکه سیستم بتواند دبی خروجی به سیستم توزیع قطره‌ای داشته باشد بدست می‌آید.

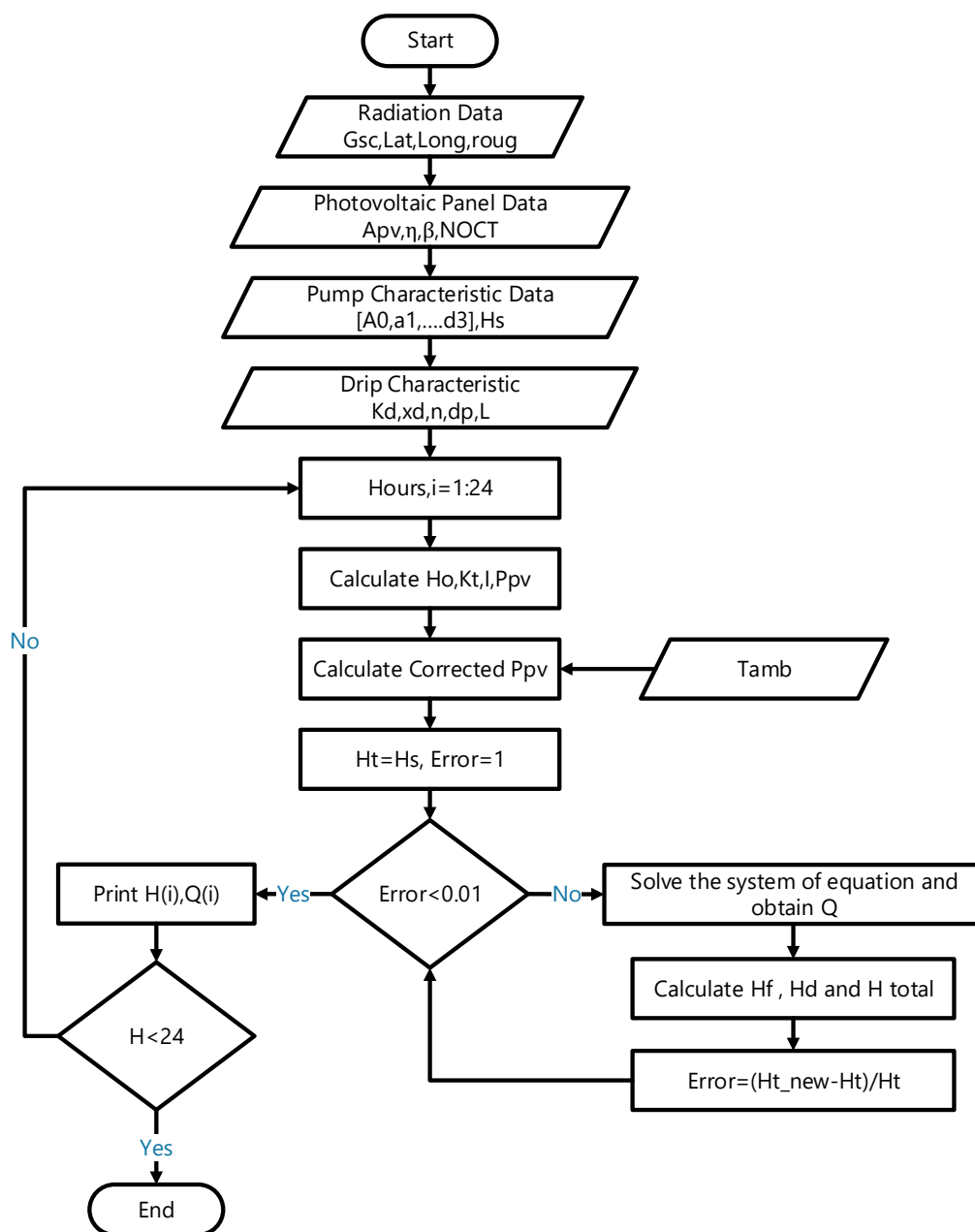
در سیستم پمپ خورشیدی اتصال مستقیم از تمام انرژی خورشید در یک روز نمی‌توان استفاده نمود. در زمان صبح و غروب خورشید میزان توان دریافتی از پنل خورشیدی کاهش می‌یابد. به توان مورد نیاز جهت استارت موتور پمپ توان آستانه گفته می‌شود. در طراحی سیستم پمپ خورشیدی میزان حداکثر توان مورد نیاز پنل خورشیدی با میزان حداکثر توان پمپ متناسب است:

$$P_{PV-Thr} \propto P_{M-Thr} \propto I_{Thr} \quad (41-3)$$

این تناسب به منظور ارزیابی مقدار مینیمم توان مورد نیاز برای پنل خورشیدی می‌باشد. مقدار مینیمم توان مورد نیاز پمپ برای کار کردن برابر با در نظر گرفتن نسبت $1/4$ برای مینیمم و بیشترین فشار کاری سیستم آبیاری برابر است با:

$$I_{Thr} = \frac{I_M}{8\eta_{mp}} \quad (42-3)$$

مقدار تابش حداکثر به شرایط مختلف آب و هوایی و عرض جغرافیایی بستگی دارد. مقدار تابش آستانه که از پمپ دبی ملموسی خارج شود با در نظر گرفتن 1000 وات بر متر مربع برابر با 125 وات بر ساعت می‌باشد. این بدان معناست تا زمانی که شدت تابش به مقدار 125 وات بر متر مربع نرسد مقدار دبی پمپ صفر خواهد بود. در نمودار شکل ۳-۷ فلوچارت محاسبه میزان خروجی آب برای یک روز کامل آورده شده است.



شکل ۷-۳ فلوچارت مدل سازی سیستم در یک روز آفتابی

۳-۴- بهینه‌سازی

بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب قابل قبول، با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسأله است. برای یک مسأله، ممکن است جواب‌های مختلفی موجود باشد که برای مقایسه آنها و انتخاب جواب بهینه، تابعی به نام تابع هدف تعریف می‌شود. انتخاب این تابع به طبیعت مسأله وابسته است. به عنوان مثال، زمان سفر یا هزینه از جمله اهداف رایج بهینه‌سازی شبکه‌های حمل و نقل می‌باشد. به هر حال، انتخاب تابع هدف مناسب یکی از مهمترین گام‌های بهینه‌سازی است. هدف از بهینه‌سازی تعیین متغیرهای طراحی است، به گونه‌ای که تابع هدف کمینه یا بیشینه شود. مسائل مختلف بهینه‌سازی به دو دسته زیر تقسیم می‌شود:

الف) مسائل بهینه‌سازی بی‌محدودیت: در این مسائل هدف، بیشینه یا کمینه کردن تابع هدف بدون هر گونه محدودیتی بر روی متغیرهای طراحی می‌باشد.

ب) مسائل بهینه‌سازی با محدودیت: بهینه‌سازی در اغلب مسائل کاربردی، با توجه به محدودیت‌هایی صورت می‌گیرد؛ محدودیت‌هایی که در زمینه رفتار و عملکرد یک سیستم می‌باشد و محدودیت‌های رفتاری و محدودیت‌هایی که در فیزیک و هندسه مسأله وجود دارد، محدودیت‌های هندسی یا جانبی نامیده می‌شوند. معادلات معرف محدودیت‌ها ممکن است به صورت مساوی یا نامساوی باشند که در هر مورد، روش بهینه‌سازی متفاوت می‌باشد. به هر حال محدودیت‌ها، ناحیه قابل قبول در طراحی را معین می‌کنند.

یک روش برای حل مسائل بهینه‌سازی این است که تمامی جواب‌های امکان‌پذیر در نظر گرفته شود و توابع هدف مربوط به آن محاسبه شود و در نهایت، بهترین جواب انتخاب گردد. روشن است که شیوه شمارش کامل، نهایتاً به جواب دقیق مسأله منتهی می‌شود؛ اما در عمل به دلیل زیاد بودن تعداد جواب‌های امکان‌پذیر، استفاده از آن غیرممکن است. با توجه به مشکلات مربوط به روش شمارش کامل، همواره بر ایجاد

روش‌های مؤثرتر و کاراتر تأکید شده است. به دلایل فوق، اخیراً تمرکز بیشتری بر روش‌های ابتکاری^۱ یا فرا ابتکاری^۲ صورت گرفته است. روش‌های جستجوی ابتکاری، روش‌هایی هستند که می‌توانند جوابی خوب (نزدیک به بهینه) در زمانی محدود برای یک مسأله ارائه کنند. روش‌های جستجوی ابتکاری عمدتاً بر مبنای روش‌های شمارشی می‌باشند، با این تفاوت که از اطلاعات اضافی برای هدایت جستجو استفاده می‌کنند. این روش‌ها از نظر حوزه کاربرد، کاملاً عمومی هستند و می‌توانند مسائل خیلی پیچیده را حل کنند. عمده این روش‌ها، تصادفی بوده و از طبیعت الهام گرفته شده‌اند.

۳-۴-۱- بهینه‌سازی به روش ازدحام ذرات^۳

جیمز کندی، روانشناس اجتماعی، و راسل سی ابرهارت، مهندس برق، صاحبان اصلی ایده ی الگوریتم ازدحام ذرات می‌باشند. آن‌ها در ابتدا قصد داشتند که با بهره‌گیری از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی نوعی از هوش محاسباتی را به وجود بیاورند که به توانایی‌های فردی ویژه نیازی نداشته باشد. اولین شبیه‌سازی آنها که در سال ۱۹۹۵ انجام گرفت آنها را به سمت شبیه‌سازی رفتار پرندگان برای یافتن دانه رهنمون کرد. این کار تحت تأثیر کار هپنر و گرناندر بود، که در سال ۱۹۹۴ برای شبیه‌سازی رفتار پرندگان به صورت یک سیستم غیرخطی انجام گرفته بود. کار کندی و ابرهارت، منجر به ایجاد الگوریتمی قوی برای بهینه‌سازی، به نام الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات یا PSO شد. در الگوریتم PSO تعداد موجودات وجود دارند، که به آنها ذره گفته می‌شود و در فضای جستجوی تابعی که قصد کمینه کردن (و یا بهینه کردن) مقدار آن را داریم، پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند. سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی‌اش و بهترین محلی که در گذشته در آن بوده است و هم چنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. همه‌ی ذرات جهتی برای حرکت

^۱ Heuristic

^۲ Metaheuristic

^۳ Particle Swarm Optimization(PSO)

انتخاب می‌کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شوند تا آن که جواب مورد نظر به دست بیاید. در واقع انبوه ذرات که مقدار کمینه‌ی یک تابع را جستجو می‌کنند، همانند دسته‌ای از پرندگان عمل می‌کنند که به دنبال غذا می‌گردند.

روش بهینه‌سازی بر اساس تئوری ازدحام ذرات یکی از بروزترین روش‌ها جهت بهینه‌سازی سیستم‌های ترکیبی می‌باشد. دلایل استقبال از این روش به خاطر دقت بسیار بالای آن نسبت به روش‌های دیگر است. علاوه بر دقت سادگی در پیاده‌سازی و سرعت همگرایی بالای آن از دیگر دلایل استفاده از این روش است [۳۵].

در روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات هر راه حل ممکن به عنوان یک ذره در نظر گرفته که به وسیله برداری شامل متغیرهای مساله مشخص می‌گردد. ذرات دارای حافظه بوده و حالت قبلی خود را حفظ می‌کنند. ذرات در فضای n بعدی تابع حرکت کرده تا بهینه گردند. وضعیت هر ذره به وسیله موقعیتش $Xi=(Xi_1, Xi_2, \dots, Xi_n)$ و سرعتش $Vi=(Vi_1, Vi_2, \dots, Vi_n)$ مشخص می‌گردد. حالت هر ذره در مراحل جدید تغییر می‌کند. سه پارامتر مهم در رابطه معادله سرعت به روز رسانی شده در روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات وجود دارد. معادله جابجایی و سرعت در الگوریتم بهینه‌سازی به صورت زیر است:

$$v_i^{k+1} = w^k \cdot v_i^k + c_1 r_1 (p_{best}^k - x_i^k) + c_2 r_2 (g_{best}^k - x_i^k) \quad (۴۵-۳)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1}$$

در این معادله v_i^k مقدار سرعت آمین ذره در تکرار k در ابعاد d ، x_i^k مقدار جابجایی آمین ذره در تکرار k در ابعاد، C_1 و C_2 فاکتورهای وزنی ثابت، P_{best} بهترین موقعیت بدست آمده بوسیله ذره i ، g_{best} بهترین موقعیت بدست آمده بوسیله همسایه‌های i ، r_1 و r_2 ضریب رندم بین بازه ۰ تا ۱ و w ضریب وزنی است که از مقدار اولیه مثبت شروع شده و در طول تکرار کاهش می‌یابد. بر اساس الگوریتم استاندارد ازدحام ذرات مقادیر ثابت برابرند با:

$$w^{k+1} = \beta \times w^k \quad . c_1 = c_2 = 2. w_0 = 1. \beta = 0.99$$

مراحل روش بهینه‌سازی PSO به روش زیر انجام می‌پذیرد:

۱. جمعیت به صورت تصادفی در فضای جستجو تولید می‌شود.

۲. سرعت اولیه به صورت تصادفی برای هر ذره تولید می‌شود.

۳. مقدار تابع هدف برای هر یک از ذرات محاسبه می‌گردد.

۴. موقعیت هر ذره به عنوان بهترین موقعیتش (P_{best}) در نظر گرفته و بهترین ذره در جمعیت به عنوان g_{best} در نظر گرفته می‌شود.

۵. ذرات به سمت موقعیت جدید براساس معادلات بروز می‌شود.

۶. اگر ذره ای از بازه‌ی مورد نظر خارج گردید، ذره در موقعیت قبلی خود قرار می‌گیرد.

۷. مقدار تابع هدف برای هر ذره محاسبه می‌گردد.

۸. مقادیر موقعیت بهینه ذره و بهترین موقعیت ذره بروز می‌گردد.

۹. معیار توقف چک می‌گردد. اگر شرط توقف ارضا می‌گردد، الگوریتم متوقف می‌شود و مقدار g_{best} به عنوان راه حل بهینه انتخاب می‌گردد. در غیر اینصورت مراحل ۵ تا ۸ تکرار می‌گردد.

۳-۴-۲- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با وزن اینرسی انطباقی^۱ (PSO-W)

در روش PSO-W به جای استفاده از ضریب وزنی ثابت، ضریب وزنی انطباقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب وزنی انطباقی نقش مهمی در تعادل بین جستجو بهینه فردی و اجتماعی بازی می‌کند. مقدار ضریب

¹ Particle swarm optimization algorithm with adaptive inertia weight (PSO-W)

وزنی بالا جستجو کلی رو زیاد کرده و مقدار ضریب وزنی پایین جستجو محلی را افزایش می‌دهد. عموماً فرآیند جستجو با مقادیر پایین شروع و با مقادیر بالا به اتمام می‌رسد. مقدار ضریب وزنی اصلاح شده به صورت خطی با بقیه متغیرها کاهش می‌یابد که بوسیله معادله زیر بیان می‌شود:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times k \quad (46-3)$$

که w_{max} مقدار ضریب وزنی که برابر با عدد 0.9 اندازه می‌گیرد و w_{min} مقدار ضریب وزنی در انتها می‌باشد و برابر با 0.4 در نظر گرفته می‌شود و k مقدار زمان تکرار جاری می‌باشد.

3-4-3 الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با ضریب محدودکننده¹ (PSO-CF)

در این قسمت به بررسی اثر بستن سرعت برای جلوگیری از انفجار ذرات² پرداخته شده است. بدون شرط حداکثر سرعت ذرات، یک آنالیز ساده یک بعدی بر روی دینامیک ذرات نشان می‌دهد که سرعت ذره به صورت نامحدود حول نقطه بهینه افزایش می‌یابد به نحوی که در هر تکرار از مقدار بهینه خود فاصله می‌گیرد [35]. در این ویرایش از بهینه‌سازی ازدحام ذرات معادله سرعت اصلاح شده به صورت زیر است.

$$v_i^{k+1} = W \cdot v_i^k + c_1 r_1 (p_{best}^k - x_i^k) + c_2 r_2 (g_{best}^k - x_i^k) \quad (47-3)$$

مقادیر C_1 و C_2 در الگوریتم استاندارد PSO انتخاب می‌شوند. این انتخاب بر روی سرعت الگوریتم جهت بهینه‌سازی تاثیر خواهد گذاشت، اما استفاده از مقادیر مختلف برای مسایل متفاوت می‌تواند تاثیر بهتری داشته باشد. روش درست‌تر اینست که ترکیب مقادیر مختلف انتخاب شود تا برای مسایل مختلف کارایی داشته باشد. برای مدل محدودکننده الگوریتم ازدحام ذرات از محدودیت‌های زیر استفاده شده است:

¹ Particle swarm optimization algorithm with constriction factor

² Swarm Explosion

$$CF = \frac{2}{|ph_i - 2 + \sqrt{ph_i^2 - 4 \times ph_i}|}$$

$$W = w \times CF$$

$$ph_i = ph_{i1} + ph_{i2} \quad (48-3)$$

$$ph_{i1} + ph_{i2} \geq 4$$

$$C_1 = CF \times ph_{i1}$$

$$C_2 = CF \times ph_{i2}$$

در این روابط CF فاکتور محدودکننده، C_1 پارامتر شناختی و C_2 پارامتر اجتماعی می‌باشد. Ph_i ضریب محدودکننده و ph_{i1} و ph_{i2} اعداد مثبت هستند که به عنوان پیشنهاد مقدار ۲/۰۵ در نظر گرفته می‌شود [۳۶].

۳-۴-۴- الگوریتم ازدحام ذرات با فاکتور دفع^۱

در این الگوریتم وقتی فاصله ذره و مقدار بهینه از مقدار شعاع مطلوب کمتر شود نیروی دافعه عمل کرده و ذره را به سمت مخالف حرکت و نه لزوماً به سمت مقدار بهینه تغییر جهت می‌دهد. این مساله کمک به حفظ انعطاف‌پذیری جمعیت می‌کند. در این ویرایش از الگوریتم PSO، این اصلاحات بر روی معادله موقعیت ذرات انجام می‌گیرد:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \text{sign}(r) \times v_i^{k+1} \quad (49-3)$$

$$\text{sign}(r) = \begin{cases} +1 & r \leq P_{rf} \\ -1 & r > P_{rf} \end{cases}$$

¹ Particle swarm optimization based on repulsion factor (PSORF)

که P_{rf} به عنوان ضریب دفع بوده و برابر $0/9$ در نظر گرفته می شود و r مقدار عدد تصادفی در بازه $[0 \ 1]$ به صورت توزیع یکنواخت در نظر گرفته می شود. مابقی ضرایب و پارامترها مانند پارامترهای الگوریتم استاندارد هستند.

۳-۵- تابع هدف، قیود و متغیرهای تصمیم‌گیری

یکی از مسایل حیاتی در سیستم‌های بهینه‌سازی تعیین تابع هدف می‌باشد. در واقع بایستی مشخص گردد که در بهینه‌سازی چه تابعی بهینه می‌گردد. به طور کلی توابع بهینه‌سازی صورت گرفته در زمینه پمپ فتوولتاییک به دو دسته کلی فنی و اقتصادی تقسیم می شوند. در ادامه به برخی از این توابع هدف پرداخته شده است.

۳-۵-۱- احتمال از دست دادن تامین بار

احتمال از دست دادن توان تامین بار یک تکنیک برای اندازه‌گیری و محاسبه‌ی سیستم پمپ خورشیدی به همراه مخزن ذخیره می‌باشد. این روش به دو مرحله زیر تقسیم می شود:

(۱) اگر مقدار آب تولیدی به وسیله آرایه فتوولتاییک بیشتر از مقدار بار در ساعت خاص است. در این حالت آب تولیدی اضافه وارد تانک ذخیره شده و در صورت برقراری این شرایط، تا زمان پر شدن مخزن پمپاژ آب به داخل مخزن ادامه می‌یابد. چنانچه این شرایط تا پر شدن مخزن ادامه یابد، انرژی در اختیار غیر قابل استفاده می‌باشد.

(۲) زمانی که آب مورد نیاز از مقدار تامینی توسط پمپ فتوولتاییک بیشتر باشد، از آب مخزن برای تامین تقاضای آب استفاده می‌شود. در این شرایط مقدار آب مخزن به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$SOC(t) = SOC(t - 1) - \left[\frac{E_L(t)}{\eta} - E_{PV}(t) \right] \quad (3-50)$$

چنانچه در حالت دوم مخزن خالی باشد، کمبود و نقضان رخ داده که به آن عدم تامین بار^۱ در آن ساعت گفته شده و به صورت زیر بیان می‌شود.

$$LPS(t) = E_L(t) - \frac{[E_{PV}(t) + SOC(t-1)]}{\eta} \quad ۵۱-۳$$

احتمال از دست دادن تامین بار (LPSP)^۲ برای یک دوره T می‌تواند به صورت نسبت مجموع زمان‌هایی که دچار نقضان شده به مجموع زمان‌های مورد نیاز برای تامین بار تعریف می‌شود:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T LPS(t)}{\sum_{t=1}^T E_L(t)} \quad (۵۲-۳)$$

در این شرایط هدف کمینه کردن این مقدار می‌باشد و بهینه‌سازی به قسمی صورت می‌گیرد که مقدار زمان‌هایی که احتمال نقضان در تامین بار وجود دارد به کمترین مقدار برسد.

۳-۵-۲- احتمال از دست دادن بار^۳

یکی از توابع هدفی که می‌تواند در بهینه‌سازی سیستم‌های پمپ خورشیدی بکار رود، مفهوم احتمال از دست دادن بار می‌باشد. این مفهوم به صورت نسبت حجم آب که سیستم قادر به تامین آن نشد به حجم کل آب مورد نیاز برای یک دوره زمانی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$LLP = \frac{\sum_{t=1}^{4380} Q_d(t)}{\sum_{t=1}^{4380} D(t)} \quad (۵۳-۳)$$

^۱ Loss of Power Supply (LPS)

^۲ Loss of Power Supply Probability

^۳ Loss of Load Probability

۳-۵-۳- مینیمم کردن توان فتوولتاییک

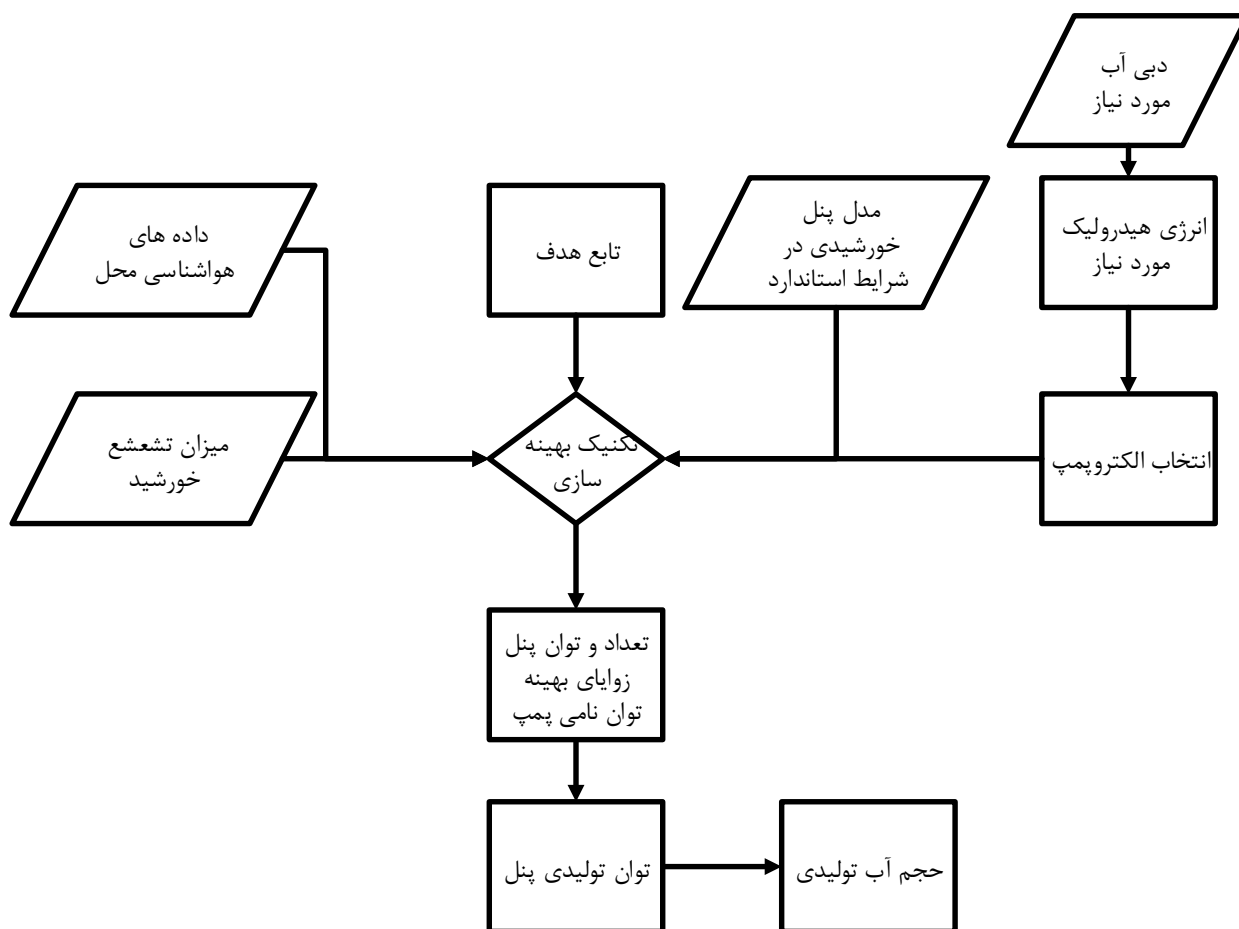
در تعریف تابع هدف، معیاری که در نگاه اول می‌تواند به عنوان هدف اصلی در سیستم‌های فتوولتاییک مطرح باشد مقدار انرژی هیدرولیک خروجی می‌باشد. بیان مقدار انرژی هیدرولیک بدون در نظر گرفتن مقدار انرژی ورودی از طریق تابش خورشید کار آسانی نمی‌باشد [۲۷]. در واقع این معیار برای زمانیکه با ورودی ثابت مانند پمپ دیزل سروکار داشته مناسب می‌باشد و در سیستم‌هایی که با نوسانات ورودی تابش در ارتباط است معیار مناسبی نمی‌باشد. در این رساله از نسبت انرژی هیدرولیک خروجی به انرژی خورشیدی ورودی استفاده می‌شود:

$$Objective Function = \frac{E_{H(i)}}{E_{S(i)}} = \frac{Hydraulic Energy}{Solar Energy} \quad (۵۴-۳)$$

تابع راندمان برای مدل برخط ارایه شده تابع مناسبی نمی‌باشد. پیاده سازی آن نشان داد که خروجی به سمتی رفته که نسبت توان ورودی به توان خروجی عدد ماکسیمم می‌باشد، اما مقدار توان پنل پاسخگوی توان مورد نیاز برای پمپ نمی‌باشد. با توجه به ثابت بودن میزان آب مورد نیاز برای آبیاری و مشخصات منبع آب کافیتست که مقدار انرژی تامینی از سیستم فتوولتاییک کمترین مقدار شود.

$$objective Function = Min(Max P_{pv}) \quad (۵۵-۳)$$

در واقع با توجه به اینکه بیشترین سهم را از لحاظ فنی و اقتصادی توان پنل‌های خورشیدی دارند، لذا با بهینه کردن آن کل سیستم بهینه خواهد شد. بهینه نمودن این تابع منجر به این می‌شود که کمترین سطح توان در بدترین شرایط برای تامین انرژی هیدرولیک مورد نیاز تامین شود. علاوه بر این مینیمم توان پنل منجر به مینیمم نمودن توان پمپ خواهد شد. کاهش سطح توان پنل و پمپ به طور مستقیم بر روی قیمت کل تاثیر مستقیم دارد. لذا با توجه به توضیحات داده شده با استفاده از یک تابع یک هدفه پارامتر فنی و اقتصادی بهینه می‌گردند. در شکل ۸-۱۳ الگوریتم پیشنهادی برای دستیابی به مقادیر بهینه آورده شده است.



شکل ۸-۳ الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی برای اجرا

۳-۵-۵- قیود

برای اجرای درست شبیه‌سازی، قیودی به معادلات اضافه می‌گردد تا در طول فرآیند بهینه‌سازی به مقادیر غیر واقعی منجر نگردد. با توجه به اینکه سری و موازی کردن پنل‌های خورشیدی غیرهمسان اصولی نمی‌باشد، لذا تعداد صفحات فتوولتاییک مورد نیاز باید عدد صحیح باشد. از سوی دیگر تعداد این پنل‌ها نباید از مقدار بیشترین که از محاسبات تحلیلی با در نظر گرفتن ضریب اطمینان بدست آمده، بیشتر گردد:

$$N_{pv} = Integer \quad 0 \leq N_{pv} \leq N_{pv}^{max} \quad (۳-۵۶)$$

زاویه شیب صفحه قرارگیری پنل‌های خورشیدی از مقادیر حداقلی و حداکثری آن خارج نخواهند شد:

$$-10 < \beta_{opt} < \beta_{max} \quad (۳-۵۷)$$

مقدار دبی خروجی از پمپ نبایستی صفر باشد. از سوی دیگر مقدار انرژی هیدرولیک بر اساس نیاز روزانه آبدهی نبایستی از مقدار بیشترین بزرگتر گردد، لذا داریم [۲۷]:

$$0 < Q \leq \frac{C_{max}}{H} \quad ۳-۵۸$$

۳-۵-۶- متغیرهای تصمیم‌گیری

متغیرهای تصمیم‌گیری متأثر از پارامترهای طراحی در مدل بهینه‌سازی به روش ازدحام ذرات می‌باشد. پارامترهای ورودی شامل مشخصه‌های هندسی، مشخصه‌های فنی تجهیزات، ورودی‌های پارامترهای هواشناسی و موقعیتی می‌باشند.

پارامترهای هندسی:

قطر لوله (D)، طول لوله (L)، هد استاتیکی منبع تامین (ΔZ)، تعداد قطره‌چکان (Ne)، ضریب زبری لوله (ε)

پارامترهای فنی تجهیزات:

منحنی عملکرد پمپ، راندمان پنل خورشیدی در شرایط استاندارد (η_{ref})، جریان اشباع پنل (I_o)، راندمان پمپ (η_P)، ضریب تخلیه قطره چکان (k_d)، مقدار توان نمایی قطره چکان (X)

پارامترهای هواشناسی:

عرض جغرافیایی محل (Φ)، ضریب برگشت تابش از زمین (ρ_g)، دمای هوای محیط (T_a)، شاخص صافی هوای روزانه (K_T)، شاخص صافی هوای ماهانه ($\bar{K}_T$)

متغیرهای تصمیم‌گیری:

زاویه شیب بهینه پنل (β_{opt})، توان نامی پنل (P_{pv})، تعداد پنل (N_{pv})، توان نامی بهینه پمپ (P_a)، دبی بهینه، پس از پایان بهینه‌سازی مقدار حساسیت هر یک از پارامترها بر مقدار بهینه بررسی و پارامترهای قابل صرف نظر حذف و پارامترهای تاثیرگذار و مقدار اثر آن مشخص می‌گردد.

۳-۶- مقدار نیاز آبی

منظور از نیاز خالص آبی^۱ قسمتی از آب مورد نیاز گیاه می باشد که از طریق آبیاری تأمین می گردد. بیان مقدار آب مورد نیاز برای یک محصول پروسه پیچیده‌ای بواسطه اینکه فاکتورهای زیادی بر آن تاثیر دارد. این فاکتورها شامل پارامترهای آب و هوایی (تابش خورشید، سرعت باد، دما و رطوبت) مشخصات محصول (نوع محصول، گونه محصول و مرحله‌ی رشد گیاه) و همچنین نوع مدیریت و شرایط محیطی را می‌توان نام برد. نمونه‌ای از روش محاسبه نیاز آبی، استفاده از تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) و تبخیر و تعرق محصول (ET_c) و

¹ Net Water Requirement

میزان بارش باران موثر می باشد میانگین تبخیر مرجع روزانه در ماه ET_0 (mm/day) توسط سازمان غذا و دارو با معادله پنمان-مونیتس ارایه شده است [۶۰]:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (59-3)$$

که در رابطه بالا R_n مقدار تابش خالص روزانه در ماه بر حسب $(MJ/m^2/day)$ و G مقدار چگالی شار حرارتی روزانه خاک در ماه می‌باشد $(MJ/m^2/day)$. میانگین دمای روزانه در ماه T بر حسب سانتیگراد می باشد. Δ مقدار شیب اشباع منحنی فشار بخار $(kPa/^\circ C)$ می‌باشد. γ ضریب ثابت سایکومتریک و e_s فشار بخار اشباع و e_a فشار بخار واقعی روزانه در ماه بر حسب (kPa) می‌باشد. u_2 متوسط روزانه سرعت باد در ماه بر حسب (m/s) است. مقدار تبخیر روزانه در ماه محصول (ET_c) بر حسب (mm/day) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (60-3)$$

که در این رابطه K_c ضریب رشد گیاهی و وابسته به مراحل رشد محصول است. این پارامتر برای مرکبات ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ در کل بازه رشد مرکبات می‌باشد [۶۰]. مقدار متوسط روزانه در ماه آب مورد نیاز محصول از تفاضل مقدار تبخیر محصول ET_c و مقدار بارش موثر روزانه در ماه بدست می‌آید:

$$CWR = ET_c - P_e \quad (61-3)$$

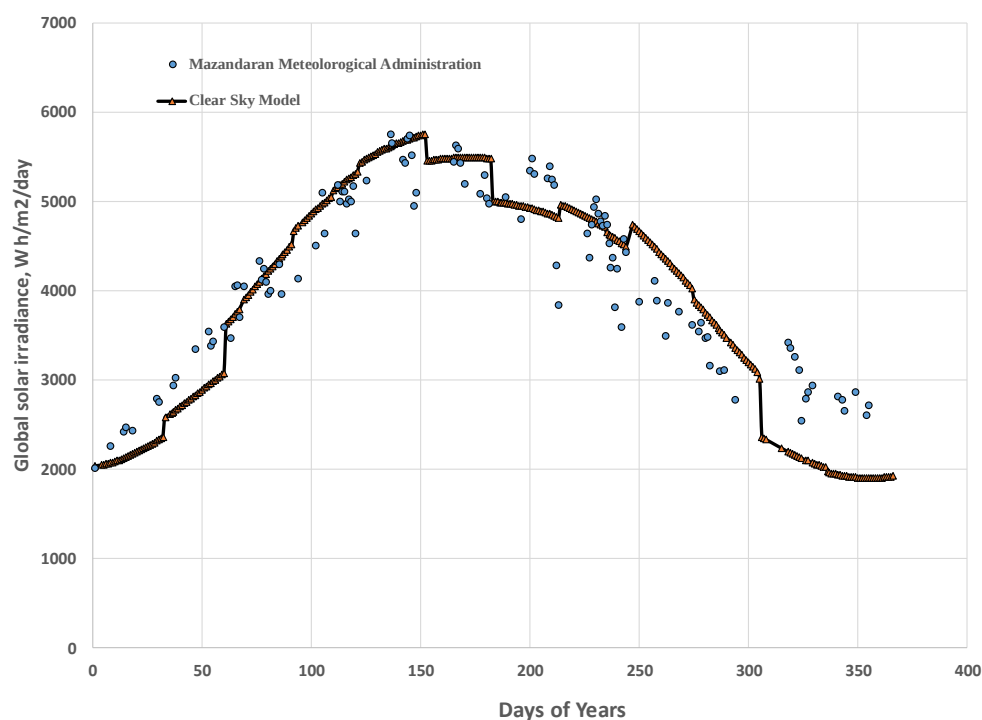
که P_e بر اساس ۸۰ درصد بارش کلی محاسبه می‌گردد [۵۱]. مقدار IWR براساس معادله ارایه شده توسط کامپانا بدست می‌آید.

$$IWR = \frac{CWR}{\eta_{irr}(1 - LR)} \quad (62-3)$$

در این رابطه η_{irr} راندمان سیستم آبیاری است که در این سیستم ۸۰ درصد فرض می‌شود. پارامتر LR نیاز شستشو برای دور کردن نمک از ناحیه ریشه درخت است و در این مدل سازی ۱۸ درصد فرض شده است.

۳-۷- تحلیل نتایج مدل

به منظور بررسی صحت مدل‌سازی صورت گرفته، مقدار انرژی دریافتی در روز با مقادیر واقعی انرژی دریافتی براساس داده‌های واقعی هواشناسی مقایسه شده است. با توجه به اینکه مدل ارایه شده به منظور شبیه‌سازی انرژی دریافتی در روزهای کاملاً آفتابی می‌باشد، لذا روزهایی از داده‌های واقعی انتخاب شده که آسمان کاملاً آفتابی می‌باشد. در نمودار شکل ۳-۹ انرژی دریافتی در مدل با مقادیر واقعی داده‌های هواشناسی مقایسه شده است.



شکل ۳-۹ مقایسه انرژی دریافتی مدل و مقادیر واقعی

مقدار انرژی دریافتی در روزهای زمستان کمتر و در بهار و تابستان بیشتر گشته و در پاییز دوباره سیر نزولی پیدا می‌کند. متوسط خطای نسبی مقادیر مدل نسبت به مقادیر داده‌های هواشناسی در این شرایط ۴/۵۲ درصد می‌باشد. مقدار بیشترین انرژی دریافتی در یک روز بر اساس مدل برابر ۵۷۵۵ $\text{W/m}^2/\text{day}$ و مقدار آن بر اساس مقادیر واقعی برابر با ۵۷۵۸ هست که بسیار به هم نزدیک می‌باشد، با این تفاوت که مقدار بیشترین در مدل در ۱۵۲ روز از سال میلادی اتفاق می‌افتد که در روز انقلاب تابستانی اتفاق نمی‌افتد.

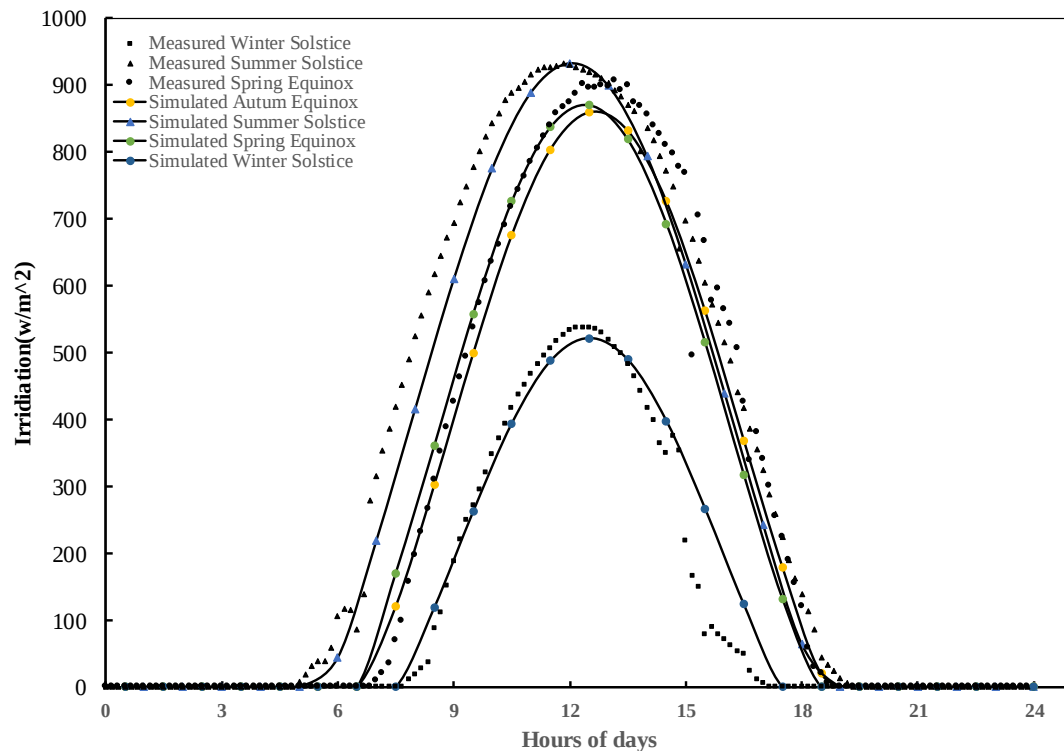
تغییرات انرژی دریافتی ساعتی

جهت بررسی داده‌های مدل پارامترهای جدول در نظر گرفته شده است. تاثیر تغییرات پارامترهای مشخصه‌ی قنی تجهیزات بر خروجی مدل تاثیر می‌گذارد، اما رفتار مدل مشابه می‌باشد. در جدول ۱ پارامترهای ثابت ورودی مدل آورده شده است.

جدول ۱-۳- پارامترهای ورودی و ثابت مدل

ردیف	پارامتر	مقدار
۱	موقعیت جغرافیایی مدل	(Lat: 36:00, Long:52:00)
۲	راندمان استاندارد پنل	۱۵ درصد
۳	سطح پنل	۶ متر مربع
۴	نوع پمپ	سطحی
۵	هد استاتیکی پمپ	۱۲ متر
۶	ضرایب قطره چکان	$n=0.5$, $k_d=0.5$

مقدار انرژی دریافتی در طول روز متغیر است و بر اساس مدل آسمان صاف در طول روز از ابتدای صبح کمترین مقدار و افزایش یافته به بیشترین مقدار رسیده و دوباره کاهش می‌یابد. در شکل ۱۰-۳ مقدار تغییرات انرژی دریافتی در طول روز برای اعتدال بهاری (اول فروردین)، انقلاب بهاری (۳۱ خرداد)، اعتدال پاییزی (۱ مهر) و انقلاب پاییزی (۱ دی) رسم شده است.



شکل ۳-۱۰ مقایسه انرژی تابش دریافتی با تابش سنج و انرژی دریافتی مدل در روزهای شاخص

بیشترین توان دریافتی در اعتدال بهاری، انقلاب تابستانی، اعتدال پاییزی و انقلاب زمستانی به ترتیب ۸۶۰، ۹۳۲، ۸۷۰ و ۵۲۱ W/m^2 می باشد. بیشترین توان دریافتی در انقلاب تابستانی و کمترین توان دریافتی در انقلاب زمستانی می باشد. مقدار توان دریافتی در روزهای اعتدالی سال بهم نزدیک می باشند.

۷-۳-۱ توان خروجی از پنل فتوولتاییک

مقدار توان خروجی از پنل خورشیدی تابع عوامل متعددی است. اصلی ترین عامل میزان تابش خورشید، زاویه قرارگیری پنل و دمای محیط است. در سیستم کوپل مستقیم پمپ با پنل خورشیدی به صورت مستقیم متصل بوده، لذا تعیین دقیق میزان توان خروجی از پنل و انطباق آن با پمپ اهمیت دارد. در جدول ۲ مقدار دمای متوسط هوا بر اساس داده های هواشناسی بر اساس میانگین ۳۰ ساله برای ماههای مختلف سال آورده شده است.

جدول ۳-۲- میانگین دمای متوسط در دوره ۳۰ ساله

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین ۳۰ ساله دما	۱۳/۷	۱۸/۶	۲۳/۳	۲۵/۷	۲۶/۸	۲۴/۸
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
	۲۰/۲	۱۵/۲	۱۰/۴	۸	۷/۵	۹/۳

به منظور بررسی تاثیر دمای محیط بر میزان انرژی خروجی از پنل خورشیدی از متوسط دما در روزهای شاخص استفاده شده است. در جدول ۳-۳ میزان دمای میانگین هوای محیط در روزهای شاخص بر اساس متوسط ۳۰ ساله آورده شده است. برای بدست آوردن این دما از میانگین دمای ماه قبل و بعد در روز شاخص استفاده شده است.

جدول ۳-۳- دمای میانگین محیط در روزهای شاخص به صورت متوسط ۳۰ ساله

روز شاخص	اعتدال بهاری	انقلاب بهاری	اعتدال پاییزی	انقلاب پاییزی
میانگین ۳۰ ساله	۱۱/۵	۲۴/۵	۲۲/۵	۹/۲

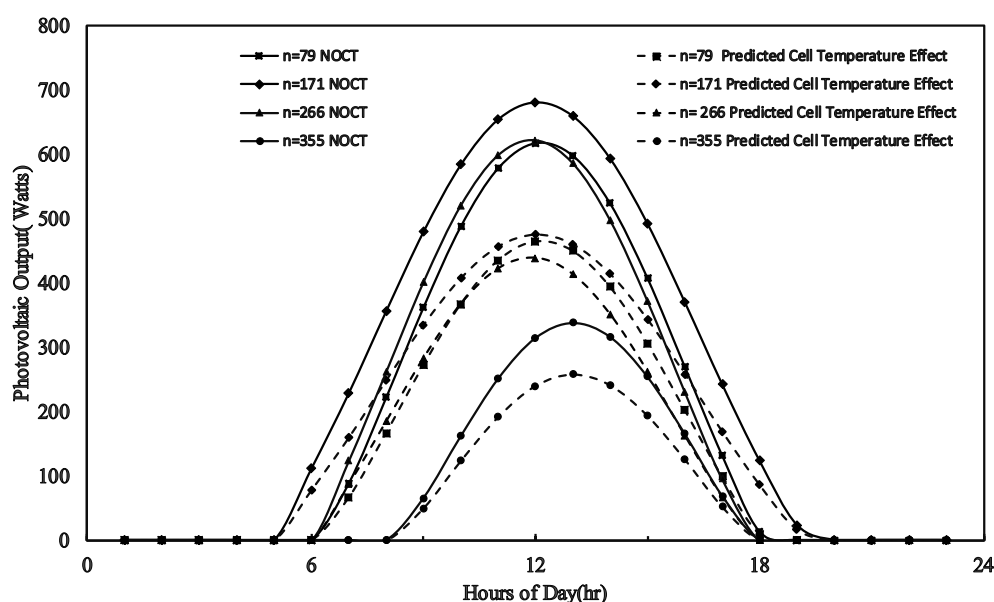
افزایش دمای محیط و شدت تابش باعث افزایش دمای سطح پنل می گردد که در جدول ۴ پیش بینی میانگین دمای سطح پنل در روزهای شاخص آورده شده است.

جدول ۳-۴- دمای سطح پنل خورشیدی در روزهای شاخص بر اساس متوسط دمای ۳۰ ساله محیط

روز شاخص	اعتدال بهاری	انقلاب بهاری	اعتدال پاییزی	انقلاب پاییزی
میانگین ۳۰ ساله	۵۴/۲	۶۷/۲	۶۵/۲	۵۱/۹

نمودار منحنی توان خروجی از پنل بر اساس در روز در شکل ۱۱-۳ آورده شده است. این نمودار برای روزهای شاخص رسم شده است. در هر روز شاخص، مقدار توان خروجی پنل در دو حالت شرایط استاندارد و شرایط

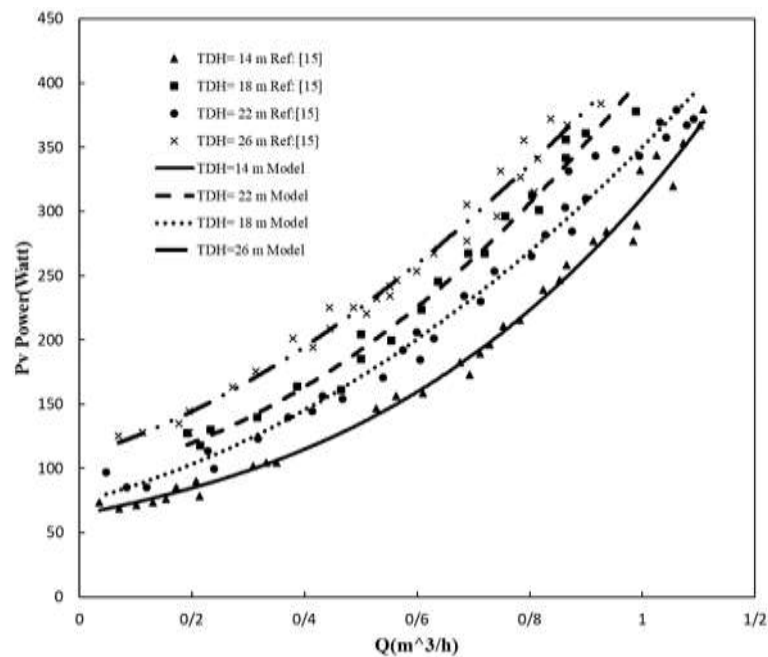
قرارگیری در دمای محیط نشان داده شده است. همانطور که نمودار مشخص است در تمامی روزهای شاخص مقدار دمای پنل خورشیدی از دمای کارکرد نرمال پنل بیشتر است، لذا مقدار توان تولیدی پنل در حالت واقعی از مقدار شرایط نرمال کمتر است. نکته قابل توجه اینست که توان تولیدی در زمان انقلاب بهاری در شرایط استاندارد بیشترین مقدار را دارد، اما با اعمال شرایط دمایی و عملکرد پنل در شرایط کارکرد دمای محیط مقدار توان تولیدی پنل از مقدار توان تولیدی در شرایط اعتدال بهاری و پاییزی کمتر می باشد.



شکل ۱۱-۳ توان خروجی ساعتی پنل در شرایط استاندارد و شرایط دمای محیط در روزهای شاخص

مقادیر مدل پمپ ارائه شده با مقادیر آزمایشی پمپ حمیدات [۱۶] برای اعتبارسنجی مدل مقایسه می شود. این داده ها برای سرهای مختلف پمپ ارائه شده است ، اما هد پشت قطره چکان بین ۵ تا ۲۰ متر است. مقادیر سرهای ارائه شده توسط حمیدات در بند آبیاری قطره ای با مقادیر پمپ مدل مقایسه شد. حداکثر مقدار توان در نتایج آزمایش ۴۰۰ وات (توان اسمی پمپ) است که به خوبی با منحنی مرتبه سوم متناسب است. ضرایب ارائه شده توسط حمیدات در محدوده توان ارائه شده بسیار دقیق هستند ، اما در خارج از توان اسمی پمپ ، دقت کاهش می یابد. در این مدل سازی ، در محدوده توان بالاتر از توان نامی پمپ ، از منحنی

درجه ۳ استفاده می شود. در شکل ۱۲-۳، داده‌های آزمایشی پمپ با داده‌های مدل مقایسه شده و بررسی مشخصه پمپ در این شبیه‌سازی ارزیابی شده است.



شکل ۱۲-۳ مقایسه داده‌های تجربی و نمودار برازش شده

اعتبارسنجی مدل پیشنهادی براساس مقایسه بین داده تجربی [15] و مقادیر محاسبه شده در میزان دبی جریان آب است. دقت با استفاده از خطای میانگین مربع ریشه، $RMSE$ ، به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (C_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N M_i^2} \right]^{0.5} \times 100 \quad (63-3)$$

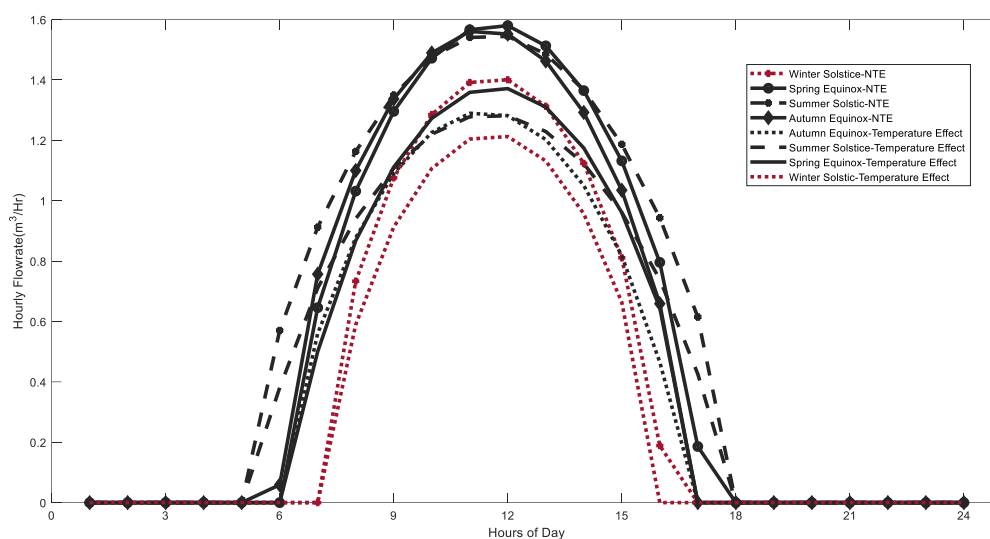
نتایج میزان خطای تخمین هد دینامیک کلی پمپ با مقادیر مرجع در جدول ۱-۳ مقایسه شده است. مقدار خطا در تخمین هد کل نسبت به داده‌های تجربی حدود ۴ درصد است. به منظور جامع بودن مدل در دیگر هدهایی که داده تجربی وجود ندارد از معادله درجه سوم استفاده شده است. در نقاط بین دو هد متفاوت از روش میانگین استفاده شده است.

جدول ۳-۵- مقایسه خطای داده های تخمین هد دینامیک کل با داده های تجربی

Total Dynamic Head	RMSE(%)
14	3.75
18	3.62
22	4.11
26	4.18

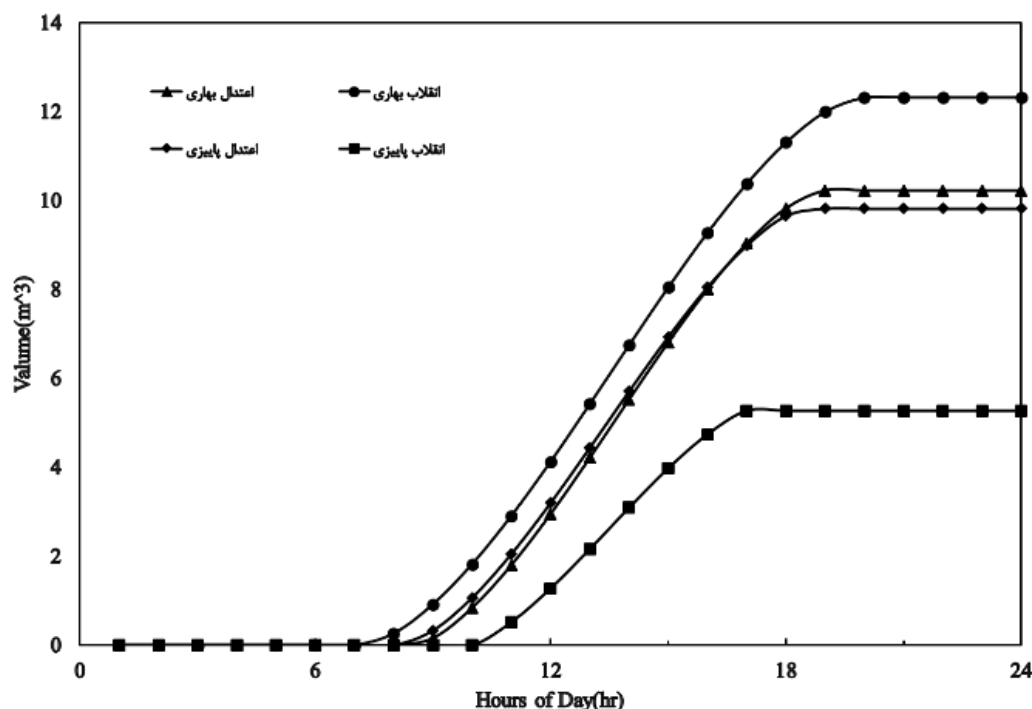
۷-۳-۲- تحلیل دبی خروجی پمپ

ابتدا به منظور تحلیل درست دبی خروجی پمپ بر اساس میزان تابش با فرض اینکه سیستم متصل به شبکه قطره‌ای نبوده بررسی کرده و الگوی دبی خروجی پمپ بر اساس میزان تابش بررسی می‌گردد و در مرحله دوم به تاثیر وجود قطره چکان و تاثیر لوله‌های انتقال و قطره چکان بر افت فشار کل پرداخته خواهد شد. در شکل ۱۳-۳ تغییرات دبی در طول روز در صورت عدم اتصال پمپ به شبکه توزیع قطره ای نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، میزان دبی خروجی از پمپ با توجه به شدت تابش و انرژی دریافتی از پنل تغییر می‌کند. در زمانی که طول روز کوتاه تر است مدت زمان آبدهی پمپ هم کاهش می‌یابد و علاوه بر آن میزان حداکثر دبی خروجی از پمپ هم به واسطه ی میران تابش ورودی کاهش می‌یابد. میزان هد پمپ در این شرایط فقط تابع هد استاتیکی می باشد و مقدار آن ثابت و برای این مدل سازی برابر با ۱۲ متر در نظر گرفته شده است.



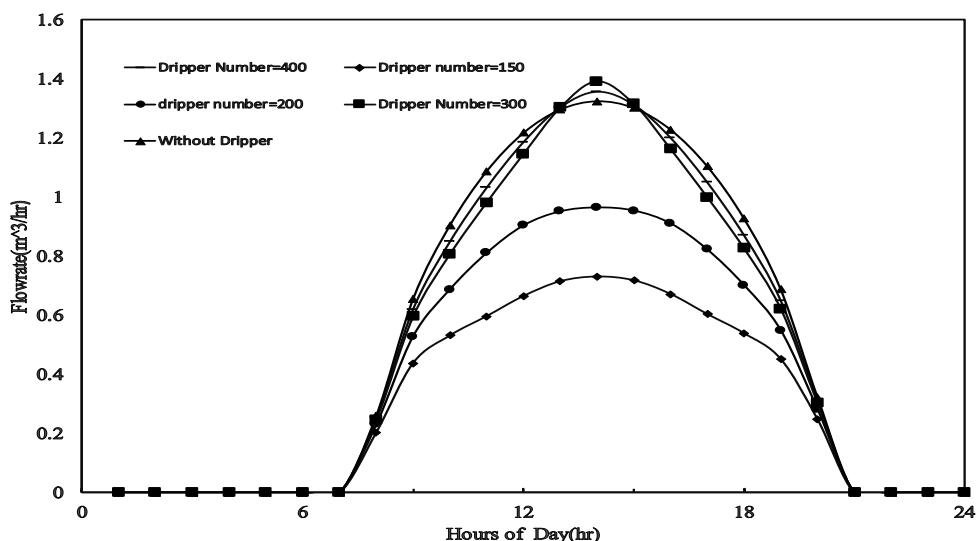
شکل ۳-۱۳ نمودار دبی بر حسب شدت جریان بدون قطره چکان

مقدار آب پمپ شده در ساعات مختلف روز برای روزهای شاخص در نمودار شکل ۸ نشان داده شده است. مقدار آب جمع‌آوری شده در روزهای اعتدال بهاری و اعتدال پاییزی به یکدیگر نزدیک می‌باشند. بیشترین مقدار آب پمپ شده مربوط به انقلاب بهاری (۳۱ خرداد) با $12/32$ متر مکعب در روز و کمترین مقدار مربوط به انقلاب پاییزی (۱ دی) با $5/26$ متر مکعب در روز می‌باشد. بر اساس این مدل آسمان صاف می‌توان گفت که در زمانی که بیشترین طول روز را داریم در حدود 2.3 برابر نسبت به زمانی که کمترین طول روز داشته می‌توانیم آب پمپ نماییم.



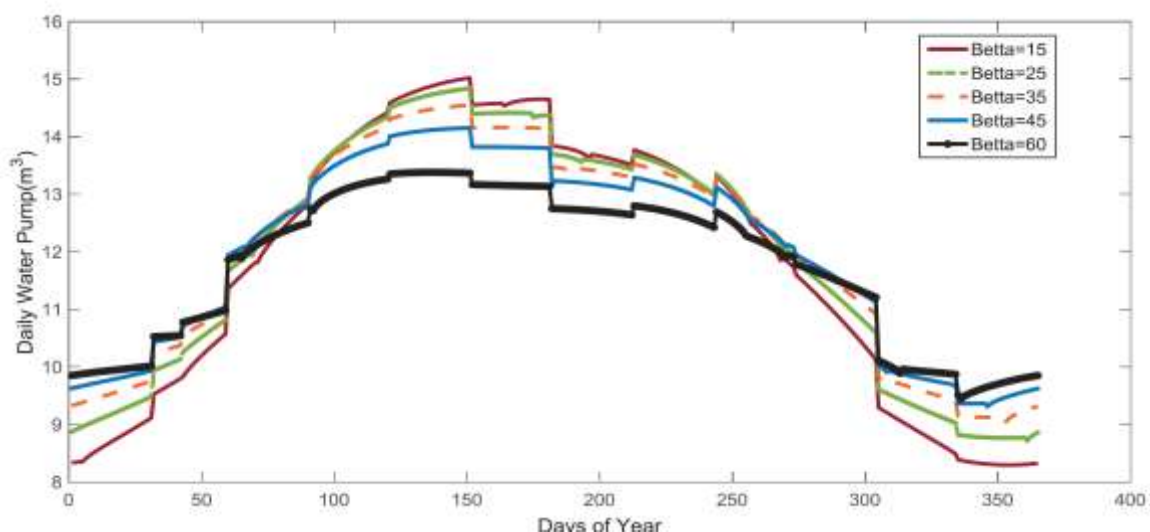
شکل ۳-۱۴ نمودار حجم آب تولیدی بر حسب ساعت روز

در زمان اتصال پمپ به شبکه آبیاری قطره ای مقدار دبی خروجی پمپ متفاوت خواهد بود. به واسطه اضافه شدن افت فشار قطره چکان مقدار دبی خروجی پمپ تغییر یافته و از مقدار دبی پمپ در حالت عدم اتصال به قطره چکان کمتر می‌گردد. با افزایش تعداد قطره چکان مقدار دبی افزایش پیدا می‌کند. در این مدل تعداد قطره چکان‌ها به ترتیب از ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ تغییر داده شده و مقدار دبی ساعتی پمپ بدست آمده است. در شکل ۳-۱۵ تغییرات دبی بر حسب ساعت و تاثیر تعداد قطره چکان در روز انقلاب بهاری نشان داده شده است. مقادیر افزایش تعداد قطره چکان‌ها باعث افزایش دبی خروجی کلی پمپ شده و این افزایش تا جایی ادامه دارد که به نظر می‌رسد به مقدار بهینه خود نزدیک می‌گردد و پس از آن با افزایش تعداد قطره چکان تاثیری بر مقدار دبی افزایش یافته دیده نمی‌شود.



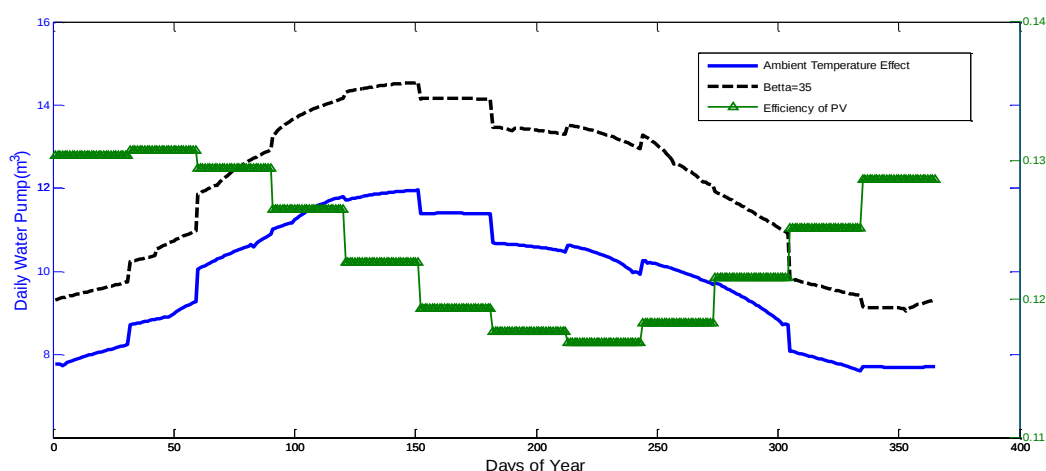
شکل ۱۵-۳ تغییرات دبی بر حسب ساعت و تاثیر تعداد قطره چکان در رور انقلاب بهاری

زاویه نصب پنل خورشیدی بر مقدار توان تولیدی توسط پنل تاثیر می‌گذارد. مقدار توان تولیدی در روزهای مختلف سال و در زاویه نصب مختلف نشان داده شده است. زمانی که زاویه نصب سالانه پنل خورشیدی به مقدار طول جغرافیایی نزدیک گردد مقدار آب تولیدی روزانه در سال بیشتر می‌گردد. در فصل‌های گرم سال مقدار زاویه کمتر از مقدار طول جغرافیایی گردد میزان آب تولیدی افزایش می‌یابد. این مساله در فصول سرد سال برعکس می‌باشد و با افزایش زاویه پنل خورشیدی نسبت به طول جغرافیایی مقدار آب تولیدی افزایش می‌یابد.



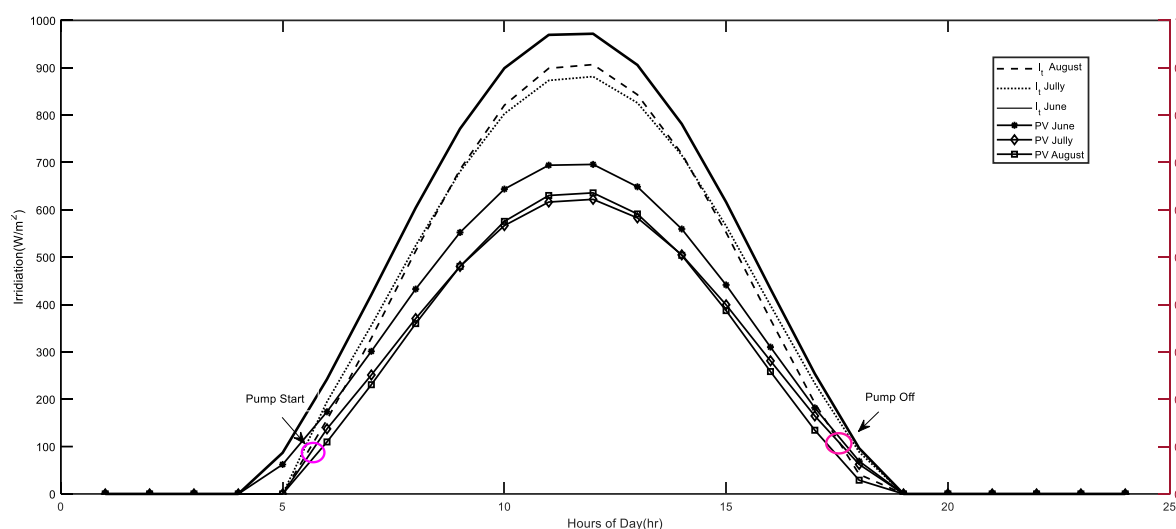
شکل ۳-۱۶ تاثیر زاویه نصب پنل بر مقدار آب تولیدی مدل در روزهای مختلف سال

با افزایش شدت تابش خورشید، مقدار انرژی دریافتی از خورشید توسط پنل خورشیدی افزایش می‌یابد. این افزایش منجر به افزایش در تولید انرژی الکتریکی خواهد گشت. در این فصول با افزایش تابش خورشید میزان دمای هوای محیط افزایش می‌یابد. این افزایش هوا تاثیر نامطلوب بر راندمان پنل خورشیدی خواهد گذاشت. در شکل ۳-۱۷ میزان آب تولیدی در روزهای مختلف سال نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار دیده می‌شود کاهش نسبی میزان آب تولیدی با در نظر گرفتن تاثیر دما در فصول گرم سال بیشتر از فصول سرد سال است.



شکل ۳-۱۷ تاثیر دما بر مقدار راندمان و میزان آب تولیدی مدل در روزهای مختلف سال

یکی از مدل‌هایی که در این بررسی با استفاده از روابط پمپ استخراج شد، مدل پیش بینی مقدار تابش آستانه کارکرد پمپ می باشد. در نمودار شکل ۳-۱۸ مقدار تابش در ماه‌های مختلف سال و مقدار تابش آستانه حرکت نشان داده شده است.

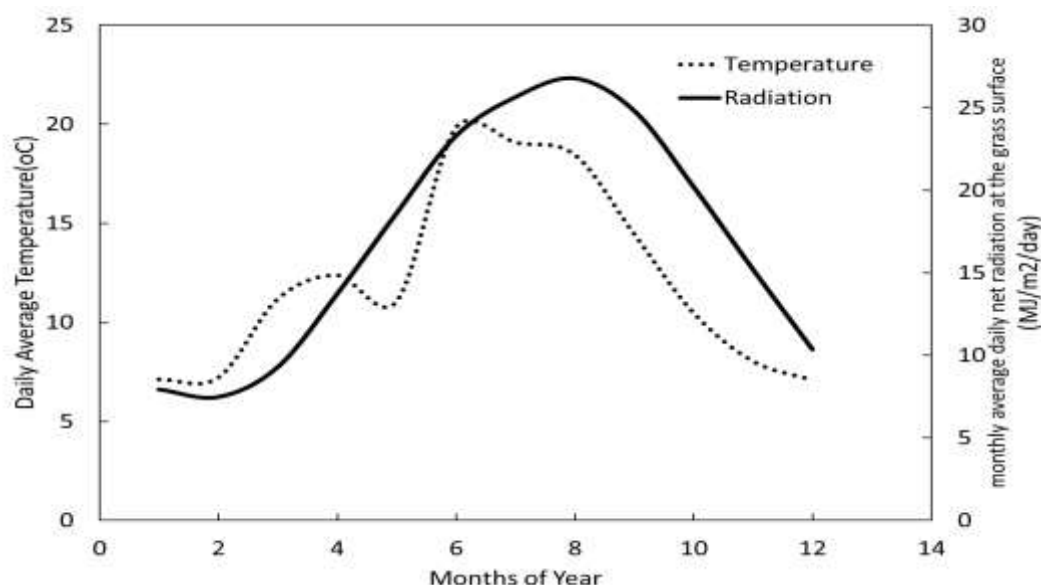


شکل ۳-۱۸ میزان تابش خورشید و مقدار تابش آستانه کار پمپ

در آب و هوای منطقه مورد بررسی در حالت ابری کامل و در زمان صبحگاه و شامگاه که مقدار تابش از مقدار آستانه پایین‌تر می آید بهتر است پمپ در حالت خاموش قرار گیرد. لذا نقطه شروع تابش از دو نظر حایز اهمیت است. در درجه اول مدل باید قادر به پیش بینی این مقدار باشد تا مقدار آب پمپ شده را به درستی مدل کند. از سوی دیگر این مدل به سازندگان پمپ کمک خواهد کرد تا نقطه خاموشی درست تشخیص داده تا به عمر کارکرد پمپ اضافه گردد.

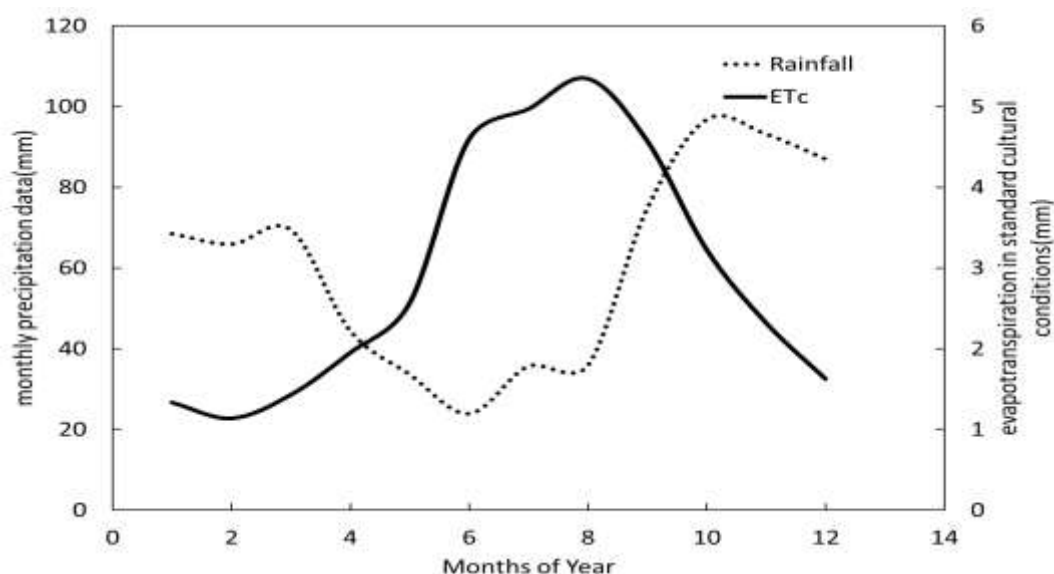
۳-۸- نتایج بهینه سازی

در این تحقیق ابتدا مقدار متوسط ماهانه بارندگی، متوسط دما، متوسط دمای شب‌نم، رطوبت، سرعت باد، تابش خورشید، فشار بخار اشباع در دمای میانگین، فشار بخار در دمای شب‌نم، شیب اشباع منحنی فشار بخار از داده‌های ۳۰ ساله هواشناسی استخراج شد. برآورد آب مورد نیاز برای فصول گرم و کم بارش درخت تعیین شد. تحلیل اقتصادی بر پایه هزینه چرخه عمر محصول برای دو حالت استفاده از پمپ خورشیدی و پمپ دیزلی با فرض اتصال هر دو به سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد. در شکل ۱ متوسط تابش روزانه آفتاب در ماه‌های مختلف سال نشان داده شده است. میزان تابش خورشید در ماه‌های فصل زمستان کمتر و با آمدن بهار و تابستان افزایش و در پاییز دوباره کاهش می‌یابد. متوسط دمای هوای محیط، رفتاری مشابه با تابش دارد، با این تفاوت که متوسط دمای هوا در ماه اردیبهشت مقداری کاهش نشان می‌دهد. همانطور که ذکر شد این داده‌ها از متوسط‌گیری دمای هوای محیط از داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه هواشناسی قراخیل در مدت ۳۰ سال صورت گرفته است.



شکل ۳-۱۹ متوسط تابش روزانه در ماه‌های مختلف سال و میانگین دمای متوسط محیط

با افزایش دمای هوا و شدت تابش خورشید میزان تبخیر و تعرق گیاه افزایش می‌یابد. علاوه بر افزایش تبخیر و تعرق درخت در فصول گرم سال، میزان بارندگی در شرایط آب و هوایی مازندران در این فصول کاهش می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت در این فصول برای جلوگیری تنش آبی درخت و کاهش محصول آن نیاز به آبیاری درخت می‌باشد.

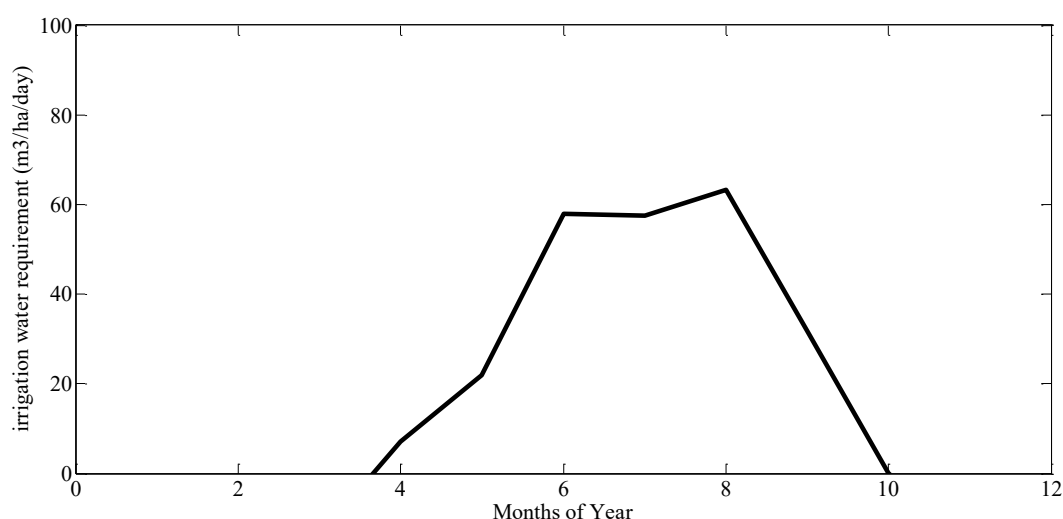


شکل ۳-۲۰ میزان تبخیر و تعرق درخت و متوسط بارندگی در سال برای ماه‌های مختلف

مقادیر آب مورد نیاز برای آبیاری درخت برای یک هکتار مرکبات نمونه معیار در شکل ۲۱-۳ نشان داده شده است. حداکثر مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری برای هر هکتار مرکبات برابر ۶۳ مترمکعب در روز است. این مقدار در سیستم آبیاری فتوولتائیک از اهمیت بالایی برخوردار است، بخاطر اینکه معیار محاسبات اندازه سیستم فتوولتائیک می‌باشد. در واقع اندازه سیستم فتوولتائیک بایستی پاسخگوی حداکثر دبی مورد نیاز آب باشد. در جدول ۳-۶ خلاصه محاسبات مربوطه آورده شده است.

جدول ۳-۶- داده های هواشناسی شهر بابل، ایران (36.4316° , 52.6560°) و محاسبه میزان تبخیر مرجع

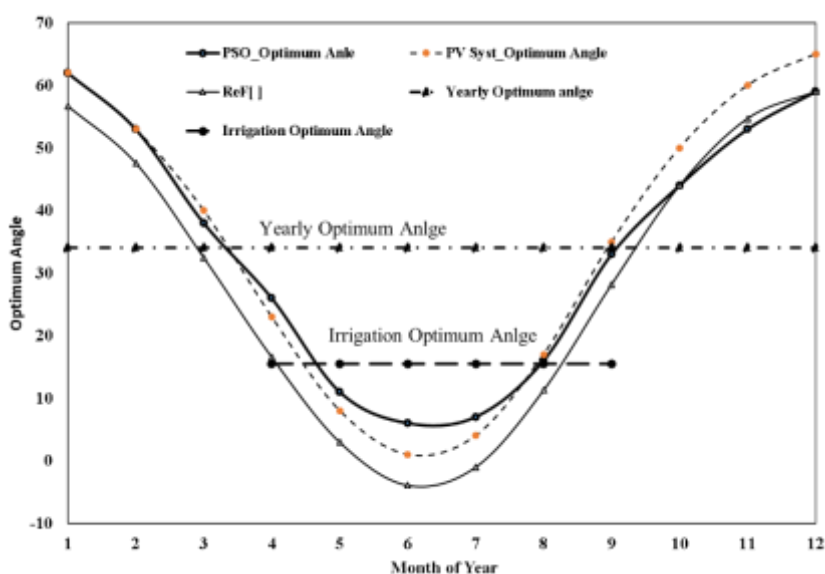
Month	T _{min}	T _{max}	HR(%)	U ₂ (km day ⁻¹)	Rn(MJ m ⁻² day ⁻¹)	ET ₀ (mm day ⁻¹)
January	-0.6	37	80.7	3.6	7.116	1.81
February	4.4	37	80.3	3.37	7.212	1.54
March	9.6	43	81.3	2.98	11.184	1.92
April	14	39.6	79.1	2.75	12.372	2.48
June	14.6	39.6	78.3	2.76	11.052	2.97
July	11.5	40.6	75.5	2.87	19.836	5.26
August	5.2	38.6	77.6	2.68	19.08	5.48
September	-0.8	32.4	76.8	2.66	18.456	5.82
October	-3.8	30	78.7	2.8	14.448	5.00
November	-6	26	78.61	3.02	10.464	3.70



شکل ۳-۲۱ مقدار نیاز آبیاری یک هکتار مرکبات برای ماه‌های مختلف سال

۳-۸-۱- خروجی پارامترهای بهینه

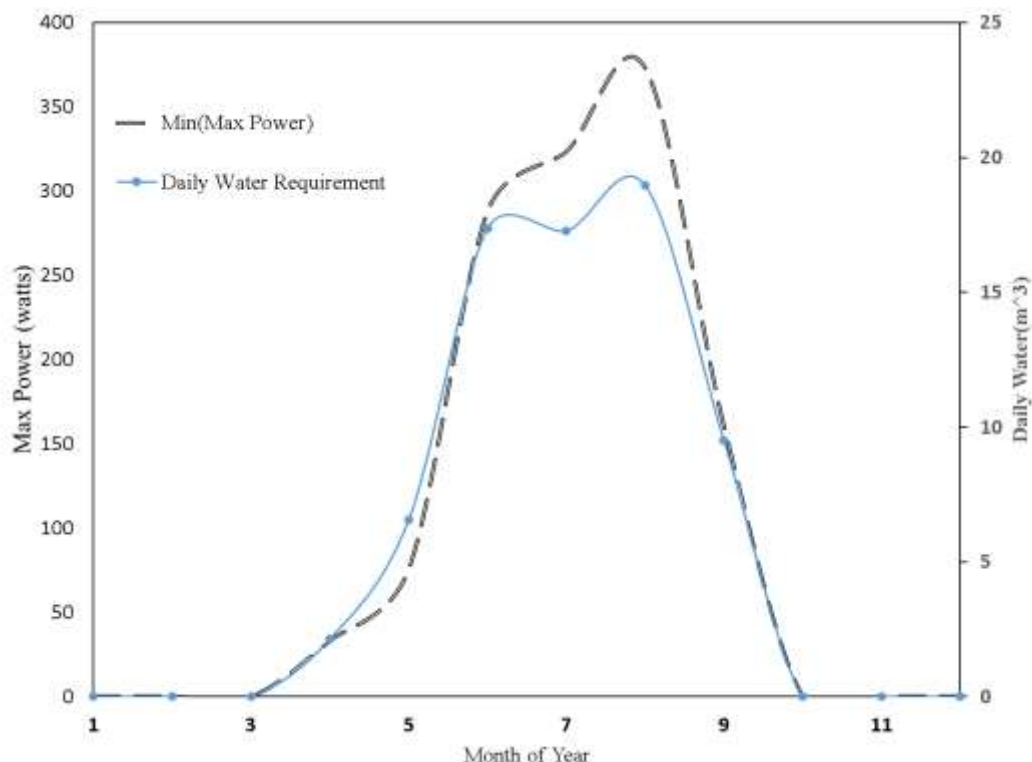
مقدار زاویه بهینه پنل در شرایط استفاده در سیستم پمپ خورشیدی بدست آمد. این زاویه به منظور دریافت بیشترین انرژی دریافتی از خورشید محاسبه شده است. زاویه بهینه ماهانه خروجی با زاویه بهینه خروجی نرم افزار PVsyst مقایسه شده است. مقادیر زاویه بهینه ماهانه نصب پنل با مقادیر ارایه شده توسط مرجع [37] که به روش الگوریتم ژنتیک برای عرض جغرافیایی 32.5° درجه مقایسه شده است.



شکل ۲۲-۳ مقایسه زاویه بهینه پنل خورشیدی روش بهینه‌سازی PSO در شرایط کوپل با پمپ خورشیدی و

مقادیر نرم افزار

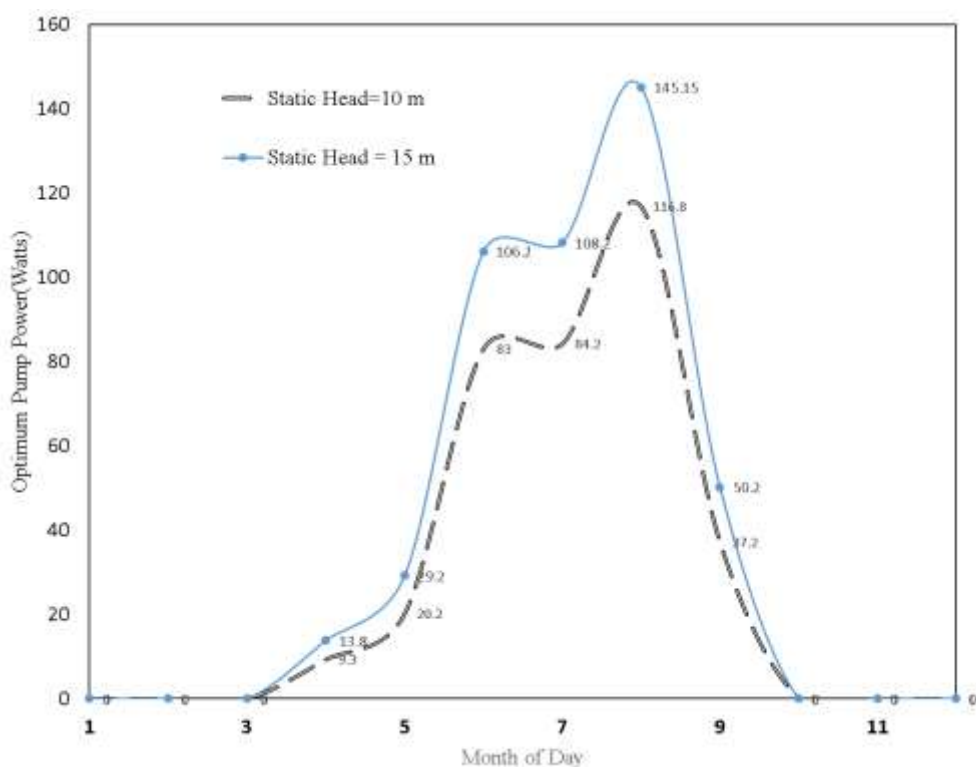
همانطور که نمودار مشاهده می شود گرایش زاویه بهینه مقادیر محاسبه شده با مقادیر مرجع مشابه هم می باشد و در فصول گرم سال این زاویه کم شده و در فصول سرد سال این زاویه افزایش می یابد. اگر چه از دو مرجعی که برای مقایسه آورده شده تابع هدف میزان انرژی الکتریکی بوده در صورتی که در کار حاضر مینیمم پیک توان پنل به عنوان تابع هدف معرفی شده است. با توجه به اینکه در عرض جغرافیایی مورد مطالعه، مرجع که بتواند زاویه بهینه را به صورت مشخص بیان نماید وجود نداشته، لذا از خروجی نرم افزار تجاری جهت مقایسه زاویه بهینه استفاده شده است. تاثیر اثر عرض جغرافیایی بر اختلاف مرجع و خروجی نرم افزار نیز قابل مشاهده است. مقدار زاویه بهینه سالانه و مقدار زاویه بهینه فصل آبیاری به ترتیب ۳۴ و ۱۵/۵ درجه می باشد. در زمان کشت گلخانه ای و نیاز به آبیاری در تمام فصول سال بهتر است از زاویه بهینه سالانه نصب پنل استفاده شود. در آبیاری مرکبات و سایر باغات که آبیاری در دوره آبیاری انجام می پذیرد بهتر است از زاویه بهینه دوره آبیاری استفاده گردد.



شکل ۳-۲۳ نمودار ماکسیمم توان بهینه پمپ و آب مورد نیاز روزانه درخت در ماه‌های مختلف سال

مقدار توان ماکسیمم پمپ با توجه به نیاز آبی در ماه‌های مختلف سال متفاوت می‌باشد. پر واضح است که در دوره‌هایی که نیاز به آبیاری درخت نمی‌باشد مقدار توان بیشترین بهینه پمپ صفر می‌باشد. هر چقدر نیاز آبی درخت افزایش یابد حداکثر توان مورد نیاز پمپ افزایش می‌یابد. برای مورد مطالعه در نمودار شکل برای ۱۵۰ نهال و با مساحت ۳۰۰۰ متر این نمودار رسم شده است. مقدار حداکثر توان پمپ مورد نیاز برای شرایط آب و هوایی مورد نظر در ماه هشتم میلادی برابر با ۳۷۳ وات می‌باشد. نسبت توان ماکسیمم پمپ ماهانه نسبت به نیاز آبی با افزایش دما و در ماه‌های هفتم و هشتم سال میلادی افزایش می‌یابد. در واقع اثر منفی افزایش دما در این ماه‌های سال بر عملکرد پمپ خورشیدی را نشان می‌دهد و نشان دهنده آنست که در این ماه‌های سال علاوه بر افزایش تبخیر و تعرق گیاه که منجر به افزایش نیاز آبی می‌گردد، افزایش دما منجر به افزایش توان پمپ مورد نیاز به واسطه کاهش عملکرد پمپ به واسطه دما می‌گردد.

افزایش آب مورد نیاز گیاه در ماه علاوه بر افزایش توان پمپ مورد نیاز قطعا نیاز به افزایش توان بهینه پمپ می‌گردد. در نمودار شکل ۲۴-۳ توان پمپ بهینه مورد نیاز برای هد استاتیکی ۱۰ و ۱۵ متر رسم شده است. این مقدار از هد استاتیکی در منطقه مورد بررسی مرسوم است و سطح آب چاه‌ها عموماً از این مقدار بیشتر نمی‌گردد.



شکل ۲۴-۳ توان بهینه پمپ و اثر هد استاتیک بر مقدار توان بهینه

همانگونه که پیش بینی می‌شد با افزایش هد استاتیکی چاه مقدار توان بهینه پمپ افزایش می‌یابد و همچنین در نیاز آبی بالا به واسطه افزایش دبی مورد نیاز پمپ، توان پمپ افزایش می‌یابد. توان مصرفی پمپ در هد استاتیکی ۱۵ متر ۱۴۵.۱۵ وات و توان مصرفی پمپ در هد استاتیکی ۱۰ متر برابر با ۱۱۶.۸ وات می‌باشد. همانطور که اشاره شد این الگوریتم توان بهینه پمپ را پیش بینی می‌کند، لذا در واقع این توان مینیمم توان پاسخگو به نیاز آبی درخت می‌باشد.

۳-۸- تحلیل اقتصادی

سیستم هزینه طول عمر برای مقایسه پمپ‌های متداول و سیستم پمپ خورشیدی فتوولتائیک استفاده شده است. این روش عموماً برای مقایسه سیستم آبیاری بر پایه انرژی نو و بقیه روش‌های متداول استفاده می‌شود [44]. به منظور ساده سازی و مقایسه بهتر قیمت‌ها به دلار تبدیل شده است. واضح است که اگر مقدار هزینه طول عمر سیستم خورشیدی از روش‌های معمولی کمتر باشد، استفاده از این روش توجیه پذیر است.

• روش هزینه طول عمر

در روش هزینه طول عمر ابتدا فاکتور ارزش حاضر^۱ برای مقایسه قیمت تجهیزات در طول سال‌های مختلف استفاده می‌شود و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PWF = \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^n = x^n \quad (۶۳-۳)$$

در این رابطه i برابر با نرخ تورم، d نرخ بهره و n عدد سال می‌باشد.

$$PW = PWF \cdot A_0 = x^n A_0 \quad (۶۴-۳)$$

که در رابطه A_0 برابر با قیمت تجهیزات در سال جاری می‌باشد. در مرحله بعد مقدار هزینه سوخت و بقیه هزینه سالانه با فرض اینکه در آغاز آن سال خریداری گردد، از فاکتور ارزش تجمعی استفاده می‌شود که برابر است با:

$$CPWF = \frac{1-x^n}{1-x} \quad (۶۵-۳)$$

سپس جهت محاسبه هزینه سالانه تجهیزاتی که در انتهای سال خریداری می‌گردند از پارامتر ارزش بها تجمعی انتهای سال استفاده می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ECPWF = x \cdot CPWF \quad (۶۶-۳)$$

¹ Present Worth Factor

ارزیابی اقتصادی براساس چرخه عمر صورت گرفته است. هزینه چرخه عمر عبارت است از مجموع تمام هزینه های سیستم در طول مدت بکارگیری یا عمر آن برحسب قیمت‌های همان روز، برای آنکه مقایسه معنی دار انجام گیرد تمام مخارج یا هزینه ها و منافع و درآمدها بایستی به صورت ارزشهای معادل روز یا اصطلاحاً ارزش فعلی PW درآیند. برای این امر از نرخ تنزیل یا بهره استفاده می‌شود:

نرخ بهره یا نرخ تنزیل سالانه عبارتست از درصد کاهش ارزش پول سرمایه گذاری شده در مدت یکسال و غالباً بین ۸ تا ۱۲ درصد می باشد. ارزش فعلی هزینه ای که قرار است به صورت سالانه طی n سال پرداخت شود از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$PW = Pa \times Ca \quad (۶۷-۳)$$

که

$$Pa = \frac{(1 + d)^n - 1}{d(1 + d)^n} \quad (۶۸-۳)$$

که در آن Ca هزینه سالانه، d نرخ بهره، n تعداد سالها و Pa ضریب ارزش فعلی پرداخت سالانه است. حاصل جمع تمام ارزشهای فعلی بدست آمده برابر کل هزینه پرداختی در طول عمر سیستم است که در اصطلاح آن را هزینه چرخه عمر یا LCC می نامند.

$$LCC = \sum_i PW_i \quad (۶۹-۳)$$

هزینه چرخه عمر سالانه از تقسیم هزینه چرخه عمر به ارزش فعلی پرداخت سالانه و بر حسب واحد پول بر سال بدست می آید.

$$ALCC = \frac{LCC}{Pa} \quad (۷۰-۳)$$

هزینه های اصلی و نصب : هزینه های اصلی سیستم پمپاژ فتوولتائیک شامل چهار بخش زیر است:

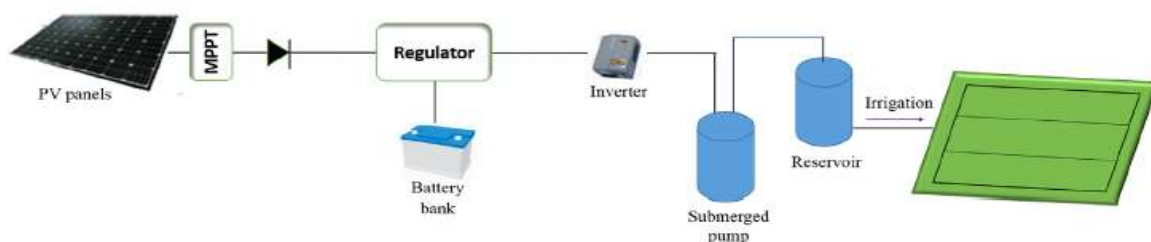
۱-پانل های فتوولتائیک

۲-قطعات هماهنگ کننده اجزای سیستم) استراکچر ، سیم کشی ، وسایل کنترلی و غیره)

۳-پمپ و الکتروموتور آب

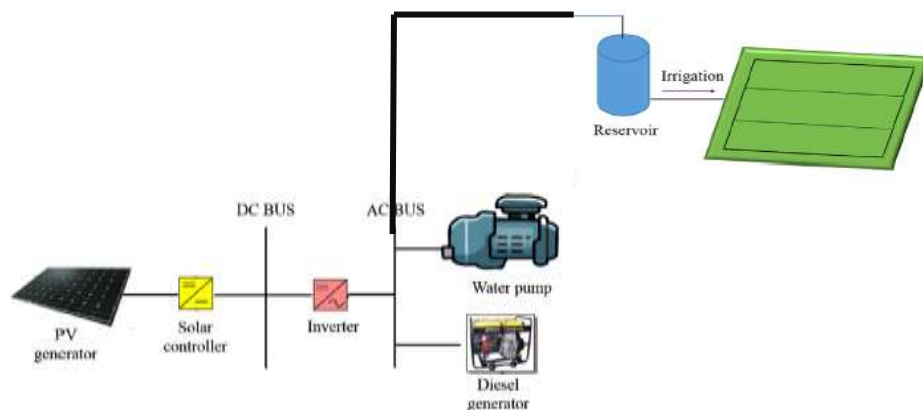
۴-ذخیره آب و شبکه توزیع

در این تحقیق از سناریوهای مختلف ترکیب پنل خورشیدی با باتری و استفاده از دیزل ژنراتور از لحاظ اقتصادی مورد بررسی قرار می گیرد. مقادیر هزینه چرخه عمر محصول برای سناریوهای مختلف بدست آمده و با یکدیگر مقایسه می گردد.



شکل ۳-۲۵ سناریوی ترکیب پنل خورشیدی با باتری و سیستم آبیاری قطره‌ای

در سناریوهای استفاده از باتری مقدار قیمت باتری و در سناریوی استفاده از دیزل ژنراتور قیمت دیزل به همراه سوخت مصرفی به هزینه ها اضافه می گردد.



شکل ۳-۲۶ سناریوی ترکیب پنل خورشیدی با دیزل ژنراتور و سیستم آبیاری قطره‌ای

جدول ۳-۷- پارامترهای طراحی سیستم پمپ فتوولتائیک

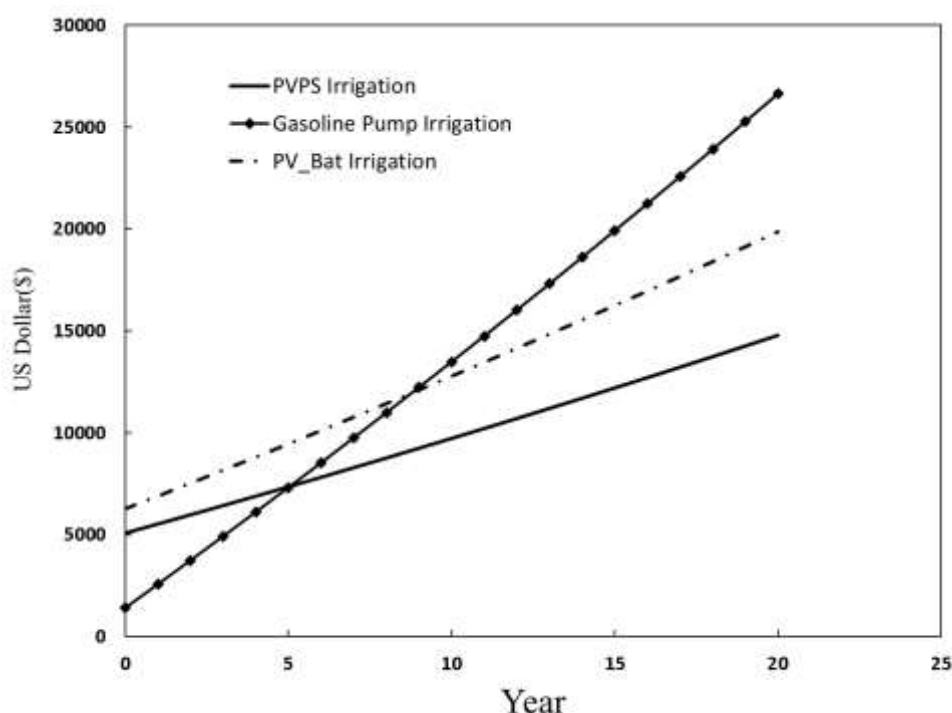
مساحت زمین	۱ هکتار
هد استاتیکی	۱۲ متر
هد کلی	۲۵ متر
پیک دبی آب	۶۳ مترمکعب در روز
توان مورد نیاز پمپ	۱۱۹۰ وات
توان آرایه پنل خورشیدی	۲۵۰۰ وات
سطح پنل	۳۳ متر مربع
میانگین پیک ساعت آفتابی	۵ ساعت
زمان آبیاری	۱۰ الی ۱۶

به منظور تحلیل اقتصادی به روش هزینه چرخه محصول، هزینه ها به سه دسته اصلی: هزینه اولیه خرید تجهیزات، هزینه سوخت و تجهیزات مصرفی سالانه و هزینه تعمیر و نگهداری تقسیم شده است. در این تحقیق از مقادیر بدست آمده از تحقیقات میدانی و قیمت های جهانی با تبدیل به دلار برای سهولت محاسبات استفاده شده است. در جدول ۳-۸ محاسبات اقتصادی صورت گرفته و جزییات هزینه ها آورده شده است.

جدول ۳-۸- جزییات محاسبه تحلیل هزینه چرخه محصول

هزینه پمپ خورشیدی (دلار)	هزینه پمپ دیزلی (دلار)
پمپ خورشیدی	۲۱۰۰
پنل خورشیدی	۱۸۷۵
سازه	۲۰۰
نصب	۲۰۰
شبکه آبیاری قطره ای	۷۰۰
هزینه سالانه سوخت	۴۵۰
هزینه سالانه تمیز کردن و نگهداری	۳۰۰
تعویض تجهیزات سالانه	۱۰۰
هزینه اولیه	۱۴۰۰
نرخ بهره	۱۷ درصد
نرخ تورم	۱۸ درصد

بررسی‌ها برای دوره ۲۰ ساله در نظر گرفته شده و نرخ تورم برای انتهای سال ۱۳۹۷ بر اساس آمار بانک مرکزی ۱۸ درصد و نرخ بهره ۱۷ درصد در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که در سال پنجم هزینه چرخه عمر محصول برای پمپ خورشیدی با پمپ دیزلی برابر خواهد بود. میزان سرمایه گذاری اولیه در زمینه پمپ خورشیدی ۳۶ برابر پمپ دیزلی است.



شکل ۳-۲۷ نتایج تحلیل هزینه چرخه محصول برای پمپ دیزل و پمپ خورشیدی

مدلی برای مقایسه فنی اقتصادی استفاده از پمپ فتوولتائیک با آبیاری قطره‌ای مرکبات ارایه شده است. این مدل بر پایه میانگین ۳۰ ساله داده‌های هواشناسی و استفاده از روش پنمان-مونتیس جهت برآورد نیاز آبی مرکبات با در نظر گرفتن آبیاری قطره‌ای ارایه شده است. براساس تحلیل اقتصادی به روش هزینه چرخه محصول، هزینه اولیه روش آبیاری با پمپ فتوولتائیک خورشیدی نسبت به پمپ دیزل ۳/۶ برابر است. هزینه سالانه سوخت و تعمیر و نگهداری سیستم پمپ دیزل منجر به برابر شدن هزینه چرخه عمر محصول در سال پنجم با سیستم پمپ فتوولتائیک خورشیدی می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که سیستم پمپ فتوولتائیک با آبیاری قطره‌ای روش کاملاً پاک و در راستای کشاورزی پایدار است و کاملاً توجیه اقتصادی دارد. هزینه اولیه

این سیستم منجر به عدم رقبت کشاورزان به این سیستم به عنوان یک مانع است که دولت می‌تواند با اعمال یارانه و تسهیلات کم بهره منجر به ترویج این روش شود، تجربه‌ای که کشورهای مانند هند و بنگلادش به خوبی آن را اعمال کردند.

فصل چهارم: آزمایشات تجربی

۴-۱-استند تست

به منظور ارزیابی مدل‌سازی صورت گرفته و هم به منظور اخذ داده واقعی از شرایط استفاده از پمپ فتوولتاییک کوپل مستقیم، ستاب تست مقیاس کوچک طراحی، ساخت و تست گردید. تست‌ها در دوره آبیاری برای دوره‌های ۱۰ روزه انجام شده است. نتایج روزانه داده برای چندین روز تکرار گردید. در این قسمت به توصیف استند تست سیستم آبیاری قطره‌ای با پمپ خورشیدی مورد نیاز پرداخته می‌شود. کل سیستم آبیاری قطره‌ای بر پایه انرژی خورشید به چهار قسمت تقسیم می‌گردد:

۱- سیستم تامین توان

۲- سیستم پمپ و متعلقات

۳- آبیاری قطره‌ای

۴- سیستم اخذ داده

سیستم تامین توان شامل پنل‌های خورشیدی که بر حسب مقدار توان بهینه مورد نیاز محاسبه شده به صورت سری و موازی به یکدیگر متصل می‌شوند. در سیستم پمپ و آبیاری قطره‌ای، پمپ مورد ارزیابی به همراه اتصالات و متعلقات آن، سیستم توزیع آب به همراه قطره‌چکان‌ها قرار دارد. سیستم اخذ داده از مجموعه‌ی حسگرهایی شامل جریان، ولتاژ، تابش خورشیدی، دما، فشار و دبی پمپ در مسیر بعد از پمپ و همچنین دور پمپ در صورت امکان می‌باشد. داده‌های اخذ شده در یک رایانه شخصی ذخیره شده و پس بررسی صحت داده‌ها مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرند. در ادامه رساله برخی از المان و حسگرهای اصلی مورد نظر در این استند تست توصیف می‌شوند.

۴-۱-۱- پنل خورشیدی

پنل خورشیدی وظیفه تامین توان مورد نیاز الکتروموتور را برای به حرکت در آوردن پمپ خورشیدی بر عهده دارند. پنل‌های متداول در بازار تجاری به صورت دو تکنولوژی پلی کریستال و مونوکریستال می‌باشند. پنل‌های مونوکریستال به واسطه استفاده از تکنولوژی بروز و کاهش تلفات داخلی دارای راندمان بهتری می‌باشند. این پنل‌ها قابلیت سری و موازی شدن را داشته و می‌توانند سطوح ولتاژ و جریان مختلفی را تامین نمایند. چیدمان پنل‌های خورشیدی و مقدار حداکثر توان نامی کل سیستم به توان کلی و مقدار حجم آب مورد نیاز در نمونه آزمایشگاهی بستگی دارد.



شکل ۴-۱ نمونه ای از پنل‌های خورشیدی تک کریستال

۴-۱-۲- حسگر تشعشع سنج

اندازه‌گیری تابش یکی از موارد مهم در این طرح پیشنهادی می‌باشد. اندازه‌گیری آن در بیان راندمان پنل خورشیدی و راندمان کل و همچنین ارتباط بین دور پمپ بهینه در شدت تابش‌های مختلف تاثیر گذار خواهد بود. حسگر تابش سنج با همان زاویه نصب پنل قرار می‌گیرد تا شدت تابش واقعی ورودی به پنل اندازه‌گیری شود. در شکل ۲-۴ نمونه ای از حسگر تابش سنج نشان داده شده است.

حسگر تابش سنج به صورت مستقل انرژی مورد نیاز برای کار خود را تامین می‌نماید. میزان حساسیت آن به صورت چند صدم ولت به ازای وات بر متر مربع و خروجی آن با مقدار نایقینی در حدود $\pm 5\%$ می باشد.



شکل ۲-۴ - حسگر اندازه‌گیری شدت تابش

۴-۱-۳- حسگر اندازه‌گیری دبی

به منظور اندازه‌گیری دبی خروجی کل سیستم پمپ خورشیدی از حسگر دبی سنج استفاده می‌گردد. این حسگرها عموماً بر اساس اثر هال^۱ کار کرده و خروجی خود را به صورت ولتاژ به سیستم اخذ داده ارسال می‌نماید. در این طرح تلاش می‌شود تا از حسگرهای مرسوم و در عین حال اقتصادی استفاده شود. حسگر انتخابی بایستی در بازه اندازه‌ی حداکثر دبی جریان مدنظر باشد. حسگر با دقت در حدود $\pm 5\%$ مد نظر می‌باشد. خروجی این حسگر با استفاده از مخزن مرجع و زمان‌سنج چک می‌گردد تا از دقت خروجی آن مطمئن بود. نمونه‌ای از حسگر سری yf-s201 شرکت Dwyer نشان داده شده است.



شکل ۴-۳ حسگر دبی سنج سری yf-s201

۴-۱-۴- قطره چکان

انتخاب قطره چکان مهمترین کاری است که در یک شبکه آبیاری قطره‌ای باید انجام گیرد. انتخاب صحیح باعث می‌شود که هزینه‌های نگهداری و زیان‌های ناشی از مسدود شدن مجراها در اثر گرفتگی، به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. قطره چکان‌ها از لحاظ مقاومت در برابر فشار به دو دسته تقسیم می‌شوند

¹ Hull Effect

۱ - قطره چکان های بدون سیستم تنظیم فشار

۲ - قطره چکان های با سیستم تنظیم فشار^۱

گروه اول با تغییر فشار میزان آبدهی شان تغییر می‌کند اما قطره چکان‌های گروه دوم که به قطره چکان‌های تنظیم کننده فشار معروف هستند، در محدوده وسیعی از تغییرات فشار و معمولا بین ۰.۵ تا ۴ اتمسفر دارای آبدهی ثابتی هستند البته این میزان تغییرات فشار کاملا تقریبی بوده و برای هر قطره چکان مقدار مشخصی است که توسط شرکت سازنده اعلام می‌شود. قطره چکان‌های با سیستم تنظیم فشار معمولا برای زمین‌های ناهموار که رعایت حد مجاز افت در طراحی ممکن نباشد و یا در جاهایی که طول لوله های آبدهی یا همان لترال‌ها و احتمال افت فشار بالا زیاد باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رساله از قطره چکان‌های بدون سیستم تنظیم فشار به منظور تست و ارزیابی استفاده می‌گردد.



شکل ۴-۴ منحنی عملکرد نمونه ای از قطره چکان تنظیم کننده فشار

¹ Pressure Compensated

۴-۱-۵- آماده سازی تست

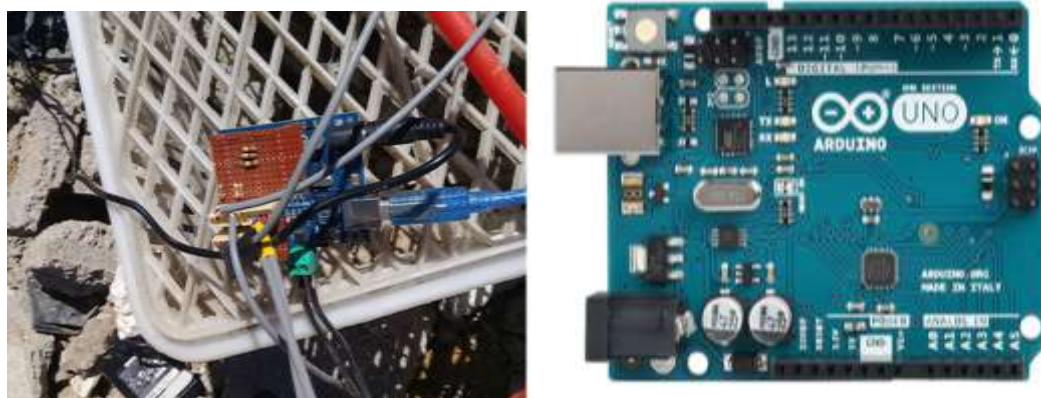
به منظور ارزیابی مدل سازی صورت گرفته، لازم بوده تا ستاب تست مناسب ساخت شود. در همین راستا از یک استند فلزی تک ستونی با قابلیت حمل آسان و در عین حال پایدار استفاده شده است. صفحه ای جهت استقرار پمپ بر روی ستون قرار داده شد. پس از نصب پمپ و پنل خورشیدی، حسگرهای در نظر گرفته شده در محل خود قرار گرفت و تست‌های کارگاهی آن انجام شد و پس از رفع نواقص آن و تایید عملکرد آن به محل تست میدانی انتقال داده شد. در شکل ۴-۵ استند ساخته شده و نمایی از تست عملکرد سیستم نشان داده شده است.



شکل ۴-۵ ساخت استند تست و انجام تست داده برداری بدون اتصال به سیستم قطره چکان

سیستم اخذ داده

به منظور دریافت داده به صورت آنلاین از پردازنده آردوینو استفاده شده است. این پردازنده با پورت یو اس بی قابلیت ذخیره و نمایش داده را بر روی لپ تاب دارد. برد آردوینو یک برد میکروکنترلر بر پایه ATmega2560 می باشد. این برد مجموعاً چندین پین ورودی/خروجی دیجیتال، ورودی آنالوگ، یک نوسان ساز کریستال 16 MHz، یک پورت USB، یک پاورجک، یک ICSP Header و یک دکمه ریست دارد. برد شامل کلیه امکانات مورد نیاز جهت بکارگیری میکروکنترلر موجود بر روی برد می باشد. برای شروع، با یک کابل USB، برد را به کامپیوترتان وصل کنید، و یا آن را با یک آداپتور AC-to-DC و یا باتری راه اندازی نمایید.



شکل ۴-۶ سیستم اخذ داده بر اساس پردازنده Arduino

تنظیم دبی قطره چکان

عملکرد قطره چکان‌ها بایستی یکنواخت باشد تا با فرض صورت گرفته در مدل در مورد یکنواختی قطره چکان‌ها انطباق داشته باشد. لذا تمام قطره چکان‌ها با استفاده از زمان سنج و اندازه گیری متوسط دبی قطره چکان در یک ظرف مدرج کالیبره گردید. خروجی قطره چکان‌ها در شرایط استاندارد بر روی دبی ۸ لیتر بر ساعت تنظیم گردید.

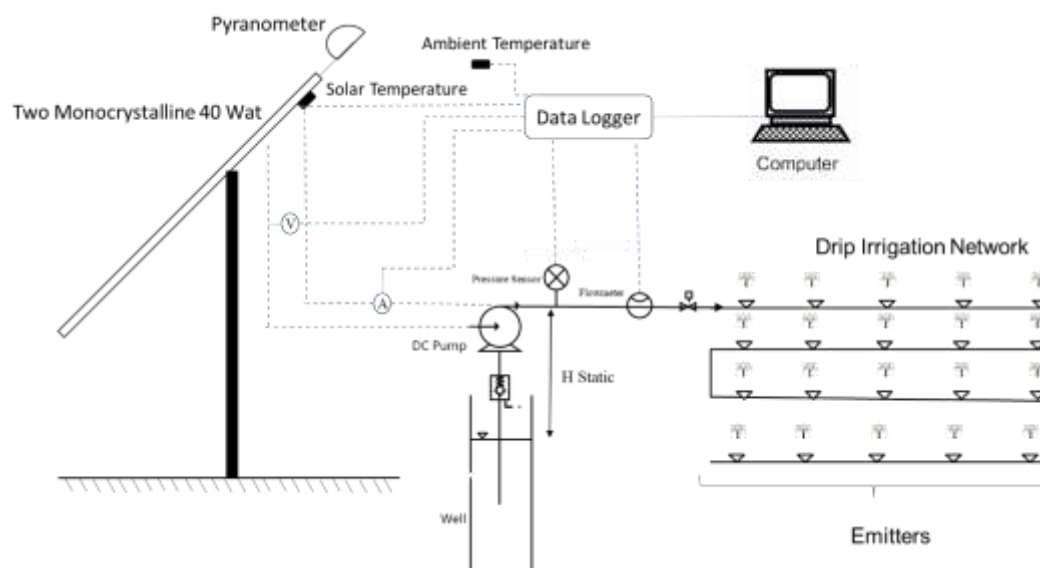
۴-۲- طرح آزمایش میدانی

طرح آزمایش الگوهایی هستند که برای انجام آزمایشات مقایسه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. آزمایش در اینجا به عملیاتی اطلاق می‌شود که برای رد یا قبول یا تکمیل فرضیه‌ای بکار می‌روند. یک آزمایش مقایسه‌ای و یک آزمایش مطلق دارای وجه تمایزی بوده بدین شکل که در آزمایش مقایسه‌ای چندین مورد مقایسه می‌شوند، در حالی که در آزمایش مطلق، بررسی فقط روی یک موضوع مشخص انجام می‌گیرد. آزمایشات صورت گرفته در روزهای آبیاری گیاه به منظور ارزیابی عملکرد محیطی اصلی شامل تابش و دمای محیط بر سیستم پمپ خورشیدی مدنظر بوده است. در یک روز صاف رفتار تابش و دما در روزهای مختلف در فصول آبیاری تقریباً مشابه هستند.

در این تحقیق، ایده استفاده از پمپ‌های خورشیدی به عنوان روشی برای آبیاری مقیاس کوچک در مناطق جلگه‌ای شمال ایران به عنوان یک پتانسیل خوب مطرح بود. بنابراین روش‌هایی برای آشنایی با چگونگی و چرایی این روش آبیاری در محل مورد تست مورد ارزیابی قرار گرفته است. سنجش رفتار پمپ جابجایی مثبت در شرایط کوپل مستقیم به پنل خورشیدی و سیستم آبیاری قطره‌ای برای اولین بار در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. از یک سو با توجه به مشخصه رفتاری پمپ جابجایی مثبت و استقلال هد پمپ از دبی آن، و از سوی دیگر تغییر میزان تابش خورشید در روز، تست‌هایی به منظور شناسایی سیستم و صحنه‌سنجی مدل انجام شده است. بررسی تحقیقات گذشته در این زمینه نشان می‌دهد که کاربرد همزمان موضوع مدیریت منابع آب (سیستم آبیاری قطره‌ای) و استفاده از پمپ خورشیدی بسیار اندک می‌باشد. بیشتر مقالات گذشته در زمینه استفاده از پمپ خورشیدی، به تامین آب شرب پرداخته و در مقالات موجود در زمینه آبیاری تحت فشار، مقادیر پارامترها به صورت تجمعی و به صورت روزانه، ماهانه و سالانه می‌باشد. در این مقاله عملکرد پمپ فتوولتاییک به صورت اتصال مستقیم به پنل خورشیدی به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد پمپ خورشیدی به صورت ساعتی در زمان اتصال به شبکه قطره‌ای مد نظر قرار گرفته است. در اینجا، پمپ

خورشیدی به شبکه آبیاری قطره ای مقیاس کوچک متصل شده است. برای اولین بار تاثیر عملکرد همزمان سیستم تامین توان پنل خورشیدی و شبکه آبیاری قطره‌ای بر عملکرد پمپ به صورت بلادرنگ^۱ بررسی گردید. در این آزمایش از نصب سیستم پمپ خورشیدی بر روی یک استند دو محوره دستی در محیط بیرون استفاده شده است. محل نصب این سیستم در استان مازندران شهرستان بابل (طول جغرافیایی 36.4316، عرض جغرافیایی 52.6560، ارتفاع از سطح دریا ۲۰ متر می‌باشد. محل تست از آب و هوای معتدل جلگه‌ای برخوردار است. متوسط شدت تابش سالانه محل تست برابر با $3/5 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ در سطح زمین می‌باشد. تغییرات سطح تابش خورشید در ساعت، روز و ماه‌های سال و دمای هوا بر عملکرد پمپ خورشید و پنل آن تاثیر خواهد گذاشت. بدین منظور از آرایه پنل خورشیدی ۸۰ وات (پنل ایسولا مدل M-18-40) شامل دو پنل خورشیدی با توان ۴۰ وات می‌باشد. به منظور انطباق ولتاژ کاری پمپ با ولتاژ ورودی از پنل خورشیدی، پنل‌ها به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند. مشخصات پنل خورشیدی استفاده در این آزمون‌ها در جدول ۱-۴ آورده شده است. پمپ انتخابی از نوع جابجایی مثبت دیافراگمی می‌باشد. مشخصات پمپ و شبکه آبیاری قطره‌ای در جدول ۲-۴ آورده شده است. در شکل ۷-۴ شماتیکی از سیستم داده برداری و تجهیزات تست و در شکل ۸-۴ تصویری از تجهیزات در روزهای تست نشان داده شده است.

¹ Real time



شکل ۴-۷ شماتیکی از سیستم داده برداری و تجهیزات تست



شکل ۴-۸ تجهیزات و سیستم داده برداری استفاده شده در تست

جدول ۴-۱- مشخصات پنل خورشیدی استفاده شده در تست

YH40W-18M	مدل پنل
40.00	حداکثر توان (Watt)
18.39	حداکثر ولتاژ (V)
2.18	حداکثر جریان (A)
22.07	ولتاژ مدار باز (V)
2.32	جریان مدار باز (A)
12.52	راندمان پنل
-0.47%	ضریب تصحیح دمایی توان ($^{\circ}\text{C}/\%$)
-0.380%	ضریب تصحیح دمایی ولتاژ ($^{\circ}\text{C}/\%$)
+0.040%	ضریب تصحیح دمایی جریان ($^{\circ}\text{C}/\%$)
47 ± 2	دمای عملکرد نامی سل ($^{\circ}\text{C}$)
1000 W/M^2 ; AM 1.5; $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$	شرایط تست استاندارد

پمپ بر روی چاه نصب شده و سیستم آبیاری قطره‌ای به آن متصل شده است. در این مدل آزمایشی، پنل خورشیدی، پمپ و شبکه آبیاری قطره‌ای به صورت مستقیم به یکدیگر اتصال دارند. حسگر اندازه‌گیری دبی و حسگر فشار برای اندازه‌گیری جریان عبوری و فشار خط استفاده شده است. دو دماسنج به منظور اندازه‌گیری دمای سطح پنل و دمای محیط استفاده شده است. حسگر اندازه‌گیری جریان توربینی مدل (YF-S201) و حسگر فشار مدل (BD) در این تست استفاده شده است. شدت تابش خورشید با استفاده از تابش‌سنج خورشیدی مدل SL-100 اندازه‌گیری می‌شود.

جدول ۴-۲- مشخصات الکتروپمپ و شبکه توزیع قطره ای

TYP-2000 جابجایی مثبت (دیافراگمی)	نوع و مدل پمپ
64	بیشترین توان پمپ (Watt)
32	ولتاژ نامی پمپ (V)
2	جریان نامی (A)
210	دبی (L/Hr)
16	قطر لوله (mm)
OLP	نوع قطره چکان
30	تعداد قطره چکان
30	طول شبکه قطره ای
8	دبی نامی قطره چکان (L/Hr)

انتخاب قطره چکان مهمترین کاری است که در یک شبکه آبیاری قطره‌ای باید انجام گیرد. مقدار دبی قطره‌چکان تابع نوع قطره‌چکان و فشار پشت آن می‌باشد. قطره‌چکان‌ها از لحاظ مقاومت در برابر فشار به دو دسته تقسیم می‌شوند.

- قطره‌چکان‌های بدون سیستم تنظیم فشار

- قطره‌چکان‌های با سیستم تنظیم فشار

گروه اول با تغییر فشار میزان آبدهی آن تغییر می‌کند، اما قطره‌چکان‌های گروه دوم که به قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار معروف هستند، در محدوده وسیعی از تغییرات فشار و معمولاً بین ۰.۵ تا ۴ اتمسفر دارای آبدهی ثابتی هستند. البته این میزان تغییرات فشار کاملاً تقریبی بوده و برای هر قطره‌چکان مقدار مشخصی است که توسط شرکت سازنده اعلام می‌شود. قطره‌چکان‌های با سیستم تنظیم فشار معمولاً برای زمین‌های ناهموار که رعایت حد مجاز افت در طراحی ممکن نباشد و یا در جاهایی که طول لوله‌های آبدهی یا همان لترال‌ها زیاد باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله با توجه به صاف بودن زمین و طول کم مسیر آبیاری قطره‌ای از قطره‌چکان‌های بدون سیستم تنظیم فشار به منظور تست و ارزیابی استفاده شد. در شکل ۹-۴ قطره‌چکان‌های موجود در بازار نشان داده شده است.



شکل ۹-۴ قطره‌چکان‌های موجود در بازار

حسگر تابش سنج و فشارسنج بر اساس لاگ تست و ارزیابی کارخانه سازنده و بر اساس آخرین کالیبره صورت گرفته توسط شرکت به عنوان معیار کالیبره بودن حسگر آن ارزیابی می شود. دبی سنج با استفاده از ظرف مدرج و زمان سنج و اندازه گیری دبی متوسط با مقدار خروجی آن مقایسه شده است. حسگرهای آنالوگ هم در آزمایشگاه تست و دقت آنها تایید گردید. در جدول ۳-۴ مشخصات تجهیزات اندازه گیری و دقت تقریبی آنها آورده شده است.

جدول ۳-۴- مشخصات تجهیزات اندازه گیری و دقت تقریبی آنها

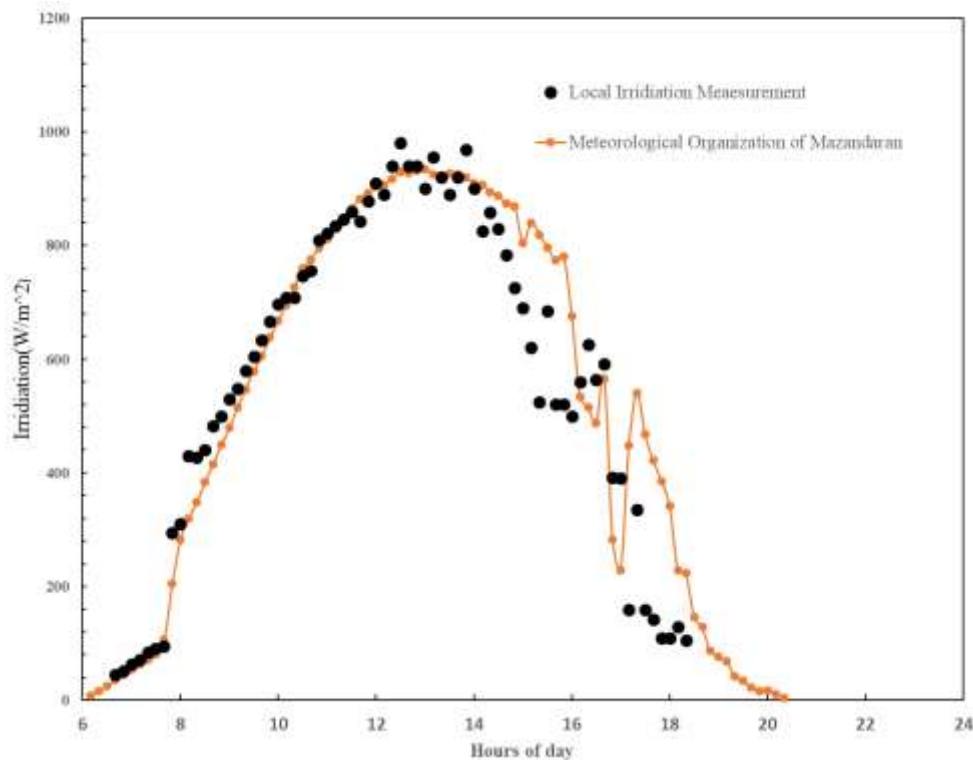
پارامتر اندازه گیری	تجهیز	دقت
دبی جریان	حسگر دبی سنج توربینی مدل YF-S201	%5
فشار	فشار سنج دیجیتال مدل BD	%0.5 FSO
شدت تابش	تابش سنج فتوسل برند SL100-Kimo	% 5 of Measurement
دما	سنسور RTD مدل PT100	0.3 Degree
ولتاژ	ولت متر دیجیتال	± 0.5
جریان	آمپر متر دیجیتال	± 0.5

۴-۲-۱- بررسی نتایج

به منظور اعتباربخشی مدل تابش ارایه شده همچنین اندازه‌گیری میزان تابش خورشید، ابتدا داده‌های مدل تابش با داده‌های هواشناسی در روزهای شاخص مقایسه شده است. پس از آن داده‌های اندازه‌گیری شده در روزهای تست با داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی دارای حسگر تابش سنج مقایسه شده است. میزان انرژی دریافتی در طول روز برای روز اعتدال بهاری (۲۰ مارس)، انقلاب تابستانی (۲۱ ژوئن)، اعتدال پاییزی (۲۳ سپتامبر) و انقلاب زمستانی (یِلدا-۲۱ دسامبر) محاسبه می‌شود. در شکل ۱۰-۴ شکل ۳-۹ داده‌های مدل

ارایه شده با داده‌های هواشناسی مقایسه شده است. این داده‌ها از حسگرهای هواشناسی در نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل تست گرفته شده است.

همانطور که در نمودار مشخص است داده‌های مدل به داده‌های ایستگاه هواشناسی نزدیک است و در روزهای شاخص به خوبی مقدار تابش را تقریب می‌زند. به منظور اعتبارسنجی داده‌های تابش اندازه‌گیری شده در روزهای تست با داده‌های ایستگاه هواشناسی مقایسه شد. شدت تابش خورشید در طول روز به صورت هر ۱۰ دقیقه ثبت گردیده است. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، مقدار پیک تابش خورشید دریافت شده در روز برابر 980 W/m^2 در ساعت ۱۲:۳۰ اتفاق می‌افتد. تابش خورشید در صبح زود تقریباً به صورت خطی با زمان افزایش می‌یابد. پس از آن در یک ساعت مشخص با افزایش چشم‌گیر در مقدار شدت تابش مواجه می‌شویم. رفتار شدت تابش به صورت هارمونیک در کل روز ادامه دارد. در نمودار شکل ۱۰-۴ مقایسه میزان تابش خورشید اندازه‌گیری شده در یکی از روزهای تست به عنوان نمونه، با داده‌های ایستگاه هواشناسی را نشان می‌دهد. در زمان قبل از ظهر و صاف بودن آسمان مقادیر تابش اندازه‌گیری شده و داده‌های ایستگاه هواشناسی بر روی هم منطبق است و نشان دهنده دقت و صحت اندازه‌گیری می‌باشد. به منظور بررسی عملکرد سیستم پمپ در زمان عبور ابر و کاهش تابش خورشید، تاثیر این شرایط جوی را در نمودار تابش خورشید در بعداز ظهر دیده می‌شود.



شکل ۴-۱۰ مقایسه تابش خورشید در طول یک روز تست با داده ایستگاه داده برداری هواشناسی استان مازندران

۴-۲-۲- تاثیر دما

دمای سطح پنل به عواملی مانند خواص حرارتی و فیزیکی پنل، دمای محیط، میزان تابش خورشید و انتقال حرارت به واسطه باد بستگی دارد. اندازه‌گیری اثر باد بر میزان انتقال حرارت و بیان آن به صورت مدل کار بسیار دشواری است. هر چقدر مقدار دمای هوای محیط و شدت تابش خورشید افزایش یابد، دمای سطح پنل خورشیدی نیز افزایش می‌یابد. مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی دمای سطح پنل وجود دارد. این مدل‌ها دما را یا به صورت صریح یا به صورت ضمنی محاسبه می‌کنند. یکی از پرکاربردترین روش برای محاسبه دمای سطح پنل، استفاده از دمای نرمال عملکرد سل فتوولتائیک^۱ می‌باشد. رابطه مارکوت براساس NOCT در زیر آورده شده است.

¹ Normal Operation Cell Temperature

$$T_{pv} = T_a + \frac{T_N - 20}{800} G_c \quad (۱-۴)$$

ساده‌ترین معادله صریح برای بدست آوردن دمای پنل، ارتباط دمای پنل با دمای محیط و تابش خورشیدی می‌باشد.

$$T_{pv} = T_a + k G_c \quad (۲-۴)$$

در این رابطه خطی ضریب k یک پارامتر دارای بعد km^2/w بوده و به ضریب راس^۱ معروف است. در واقع این ضریب شیب خط اختلاف دمای پنل به دمای محیط بر حسب تابش است $(\Delta(T_c - T_a)/G_c)$. این ضریب بر اساس ارتفاع نصب و میزان فاصله هوایی ماژول بستگی دارد در جدول ۴-۴ ضریب راس برای شرایط مختلف آورده شده است.

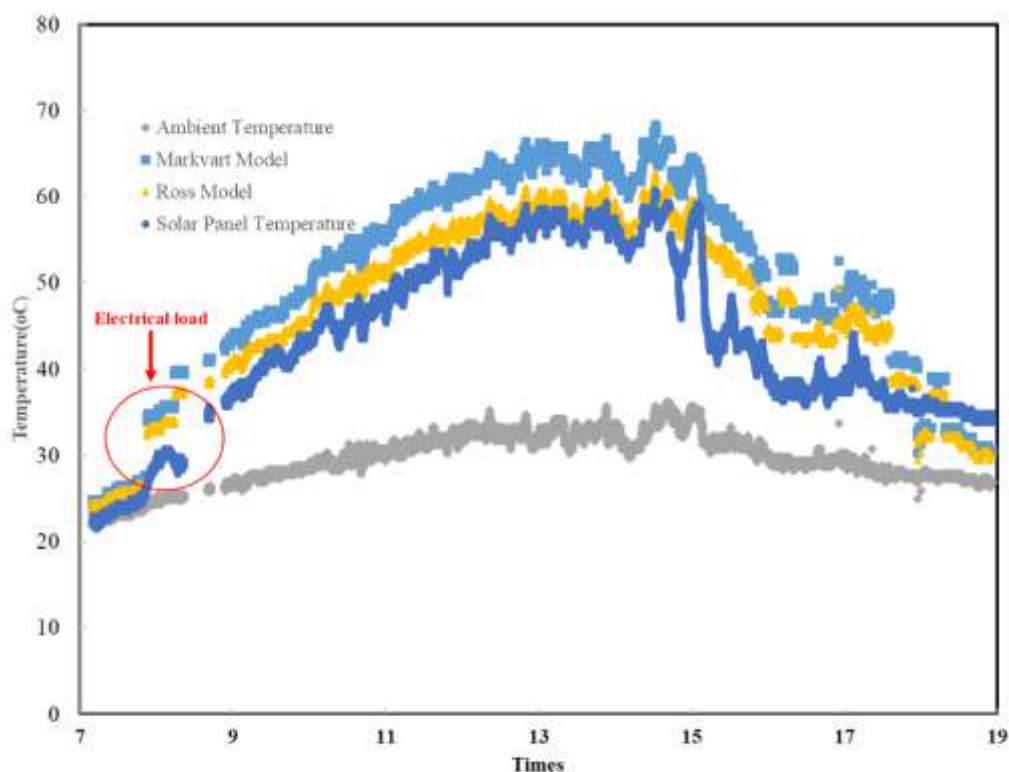
جدول ۴-۴ مقدار ضریب راس برای شرایط مختلف نصب پنل خورشیدی

نوع آرایه پنل خورشیدی	ضریب راس $K(\text{km}^2/\text{w})$
کاملاً خنک شده	۰.۰۲
آزاد قرار داده شده	۰.۰۲۰۸
مسطح بر روی سقف	۰.۰۲۶
درست خنک نشده	۰.۰۳۴۲
پنل‌های شفاف	۰.۰۴۵۵
پنل نصب بر روی نما	۰.۰۵۳۸
سقف شیب‌دار	۰.۰۵۶۳

با طلوع آفتاب و شروع روز دمای محیط افزایش می‌یابد و به مقدار بیشترین خود در طول روز می‌رسد و پس از آن مسیر نزولی را طی می‌کند. دمای سطح پنل به طور مستقیم از دمای محیط و میزان تابش خورشید

¹ Ross Coefficient

تأثیر می‌پذیرد. در این آزمایش دمای محیط و دمای سطح پنل در زمان روشن بودن پمپ و آمپردهی پنل اندازه‌گیری شده است. در شکل ۱۱-۴ مقایسه دمای سطح پنل تست و مدل راس و مدل دمای نرمال عملکرد ارایه شده است. همانطور که در نمودار دیده می‌شود مدل راس به داده‌های تست نزدیک‌تر است و مدل دمای نرمال عملکرد بیشتر از مقدار تجربی پیش‌بینی می‌کند. مقدار ضریب راس در این بررسی ۰.۰۲۶ در نظر گرفته شده است. مقدار متوسط اختلاف دمای سطح پنل اندازه‌گیری شده با مقدار مدل راس ۲.۶ درصد و این مقدار برای مدل دمای نرمال عملکرد پنل برابر ۷ درصد می‌باشد.



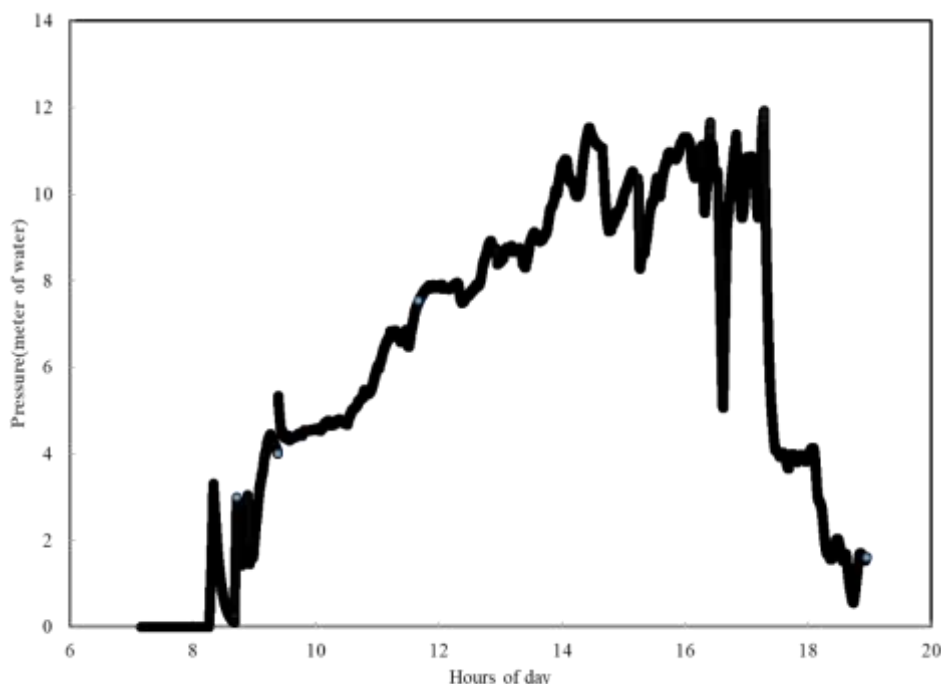
شکل ۱۱-۴ تغییرات دمای محیط و دمای سطح پنل در روز آفتابی تست و مقایسه با مقادیر مدل

نتایج دمای سطح پنل با مدل‌های ارایه شده توسط مارکوارت و راس مقایسه شده است. روند کاهش و افزایش دمای سطح پنل با افزایش و کاهش دمای محیط منطبق است. تا زمان شروع بکار نکردن پمپ اختلاف دمای

سطح پنل و دمای محیط کم می‌باشد و با شروع جریان خروجی از پنل اختلاف دمای سطح پنل و محیط افزایش می‌یابد. در واقع به واسطه جهش در میزان تابش دریافتی به سطح پنل، مقدار انرژی مورد نیاز برای راه اندازی موتور تامین می‌گردد. افزایش سطح تابش به سطح پنل و افزایش بار الکتریکی پنل باعث افزایش ناگهانی در دمای سطح پنل می‌گردد که در شکل با دایره قرمز نشان داده شده است.

۴-۲-۱- فشار

فشار متناسب در سیستم قطره چکان بین ۵ الی ۲۰ متر آب است. این فشار تابع میزان تابش خورشید و انرژی ورودی به پنل خورشیدی و پمپ می‌باشد. در زمان صبح و غروب و در شرایط تابش کم، مقدار فشار شبکه قطره‌ای کم می‌باشد و با افزایش تابش خورشید مقدار فشار در شبکه قطره‌ای افزایش می‌یابد این در حالی است که مقدار دبی خروجی با افزایش فشار تقریباً ثابت می‌ماند. پدیده کاهش فشار خط توزیع قطره‌ای در زمان گذر ابر و کاهش تابش خورشید دیده می‌شود. پمپ به واسطه کوپل مستقیم بودن تحت تاثیر تابش ورودی به پنل خورشیدی می‌باشد و با کاهش تابش آن بر فشار خط تاثیر می‌گذارد. این در حالی است که دبی رفتار ثابتی از خود نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲ تغییرات ساعتی فشار خط شبکه قطره‌ای در طول روز

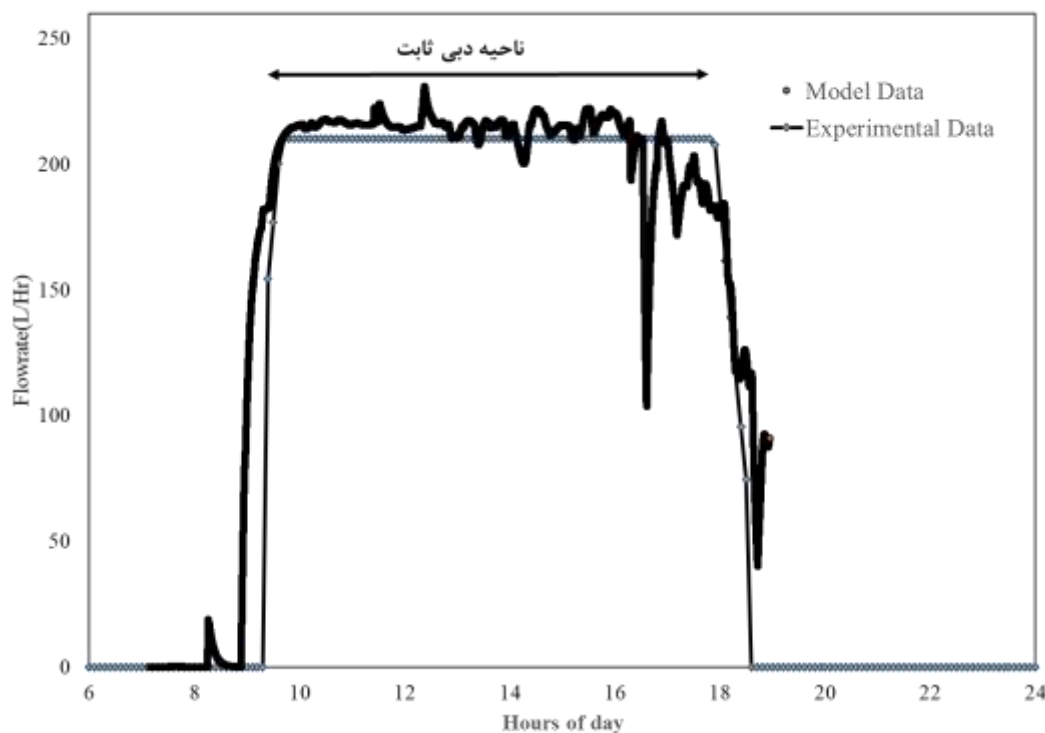
۴-۲-۲-۲-۴ دبی پمپ

مقدار دبی نامی پمپ برابر با ۲۴۰ لیتر بر ساعت است. با شروع تابش خورشید پمپ با دبی کمتر از دبی نامی شروع به پمپ نمودن آب و افزایش فشار در خط شبکه قطره ای می نماید. تا زمانی که مقدار تابش به اندازه‌ی شد که پمپ به حداکثر دبی اسمی خود نزدیک شد در این شرایط با افزایش شدت تابش مقدار دبی پمپ تغییری پیدا نمی‌کند و چنانچه مقدار شدت تابش از مقدار مشخص کمتر نگردد، دبی پمپ تقریباً ثابت می‌ماند. در شرایط صبحگاهی و غروب و یا ابری شدن هوا که منجر به کاهش تابش خورشید می‌گردد، مقدار دبی کاهش می‌یابد. کاهش دبی در این شرایط با کاهش فشار خط توزیع قطره ای متناسب است.

دبی پمپ در سیستم آبیاری قطره ای با توجه به میزان تابش خورشید به سه بخش تقسیم می‌شود. توان پمپ برابر است با توان خالص تولید شده توسط سیستم خورشیدی و پاسخ سیستم پمپاژ را می‌توان توسط مجموعه معادلات زیر مدل کرد:

$$\left\{ \begin{array}{l} a: \quad IF P_{pv} < P_m \Rightarrow Q = 0 \\ b: \quad IF P_m < P_{pv} < P_M \Rightarrow Q = Q_M \left(\frac{P_{pv}}{P_M} \right) \\ c: \quad IF P_{pv} > P_M \Rightarrow Q = Q_M \end{array} \right. \quad (3-4)$$

در این رابطه Q مقدار دبی پمپ در آن ساعت، P_{pv} توان لحظه‌ای تامین شده توسط پنل خورشیدی، Q_m و P_m دبی و توان پمپ در آستانه راهاندازی می‌باشد.

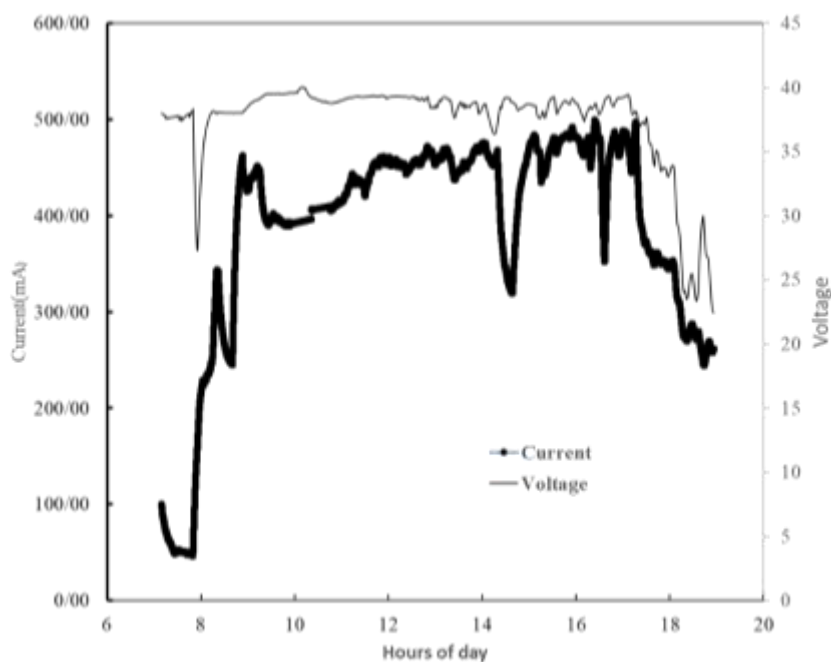


شکل ۴-۱۳ منحنی تغییرات دبی بر حسب زمان در طول روز تست

۴-۲-۳-ولتاژ و جریان پمپ

رفتار ولتاژ سر پمپ در شرایط دبی ثابت تقریباً مقدار ثابتی می‌باشد. پمپ جابجایی مثبت دیافراگمی رفتار نوسانی با فرکانس بالا در پمپ کردن آب دارد. در تابش‌های پایین مقدار توانی که پمپ می‌تواند از پنل

خورشیدی دریافت کند کاهش می‌یابد، جریان خواهی پمپ و عدم تامین آن توسط پنل منجر به کاهش ولتاژ می‌گردد. کاهش ولتاژ منجر به کاهش دور الکتروموتور و کاهش فرکانس حرکت دیافراگم می‌گردد. در نتیجه آن دبی و فشار خط کاهش می‌یابد. رفتار جریان و ولتاژ پمپ متاثر از تابش خورشید می‌باشد. این جریان و ولتاژ ورودی به پمپ باعث ایجاد ناحیه خطی و ناحیه دبی ثابت در پمپ می‌گردد. در شکل (۱۰) منحنی تغییرات جریان و ولتاژ پمپ بر حسب زمان نشان داده شده است. مقدار ولتاژ و جریان در شرایط دبی ثابت به ترتیب برابر با ۳۸ ولت و جریان بین ۴۰۰ الی ۵۰۰ میلی آمپر است. مقدار ولتاژ به حداکثر ولتاژ خروجی پنل خورشیدی در حالت اتصال سری نزدیک می‌باشد.

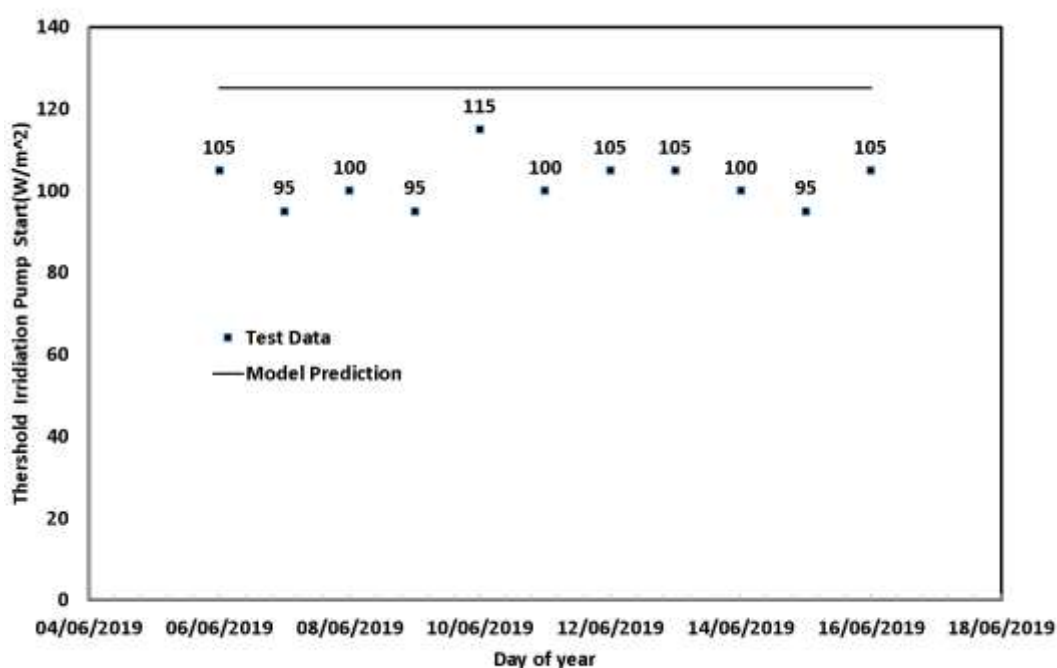


شکل ۴-۱۴ منحنی تغییرات جریان و ولتاژ پمپ بر حسب زمان

آستانه تابش شروع پمپ

همانطور که در فصل مدل‌سازی اشاره شد در این تحقیق تلاش شد تا با استفاده از یک مدل ریاضی مقدار آستانه تابش مورد نیاز جهت شروع به کار پمپ تخمین زده شود. مقدار خروجی مدل بر اساس تابش حداکثر

۱۰۰۰ وات بر متر مربع برابر با ۱۲۵ وات بر متر مربع می باشد. در واقع این بدان معناست که تا زمانی که مقدار تابش خورشید به مقدار آستانه حرکت پمپ نرسد دبی خروجی پمپ صفر می باشد. این پارامتر در دوره‌های تست پس از شروع دبی پمپ ثبت گردید. در نمودار شکل ۴-۱۵ مقدار تابش اندازه‌گیری شده شروع تابش و مقدار پیش بینی آورده شده است.



شکل ۴-۱۵ مقدار تابش آستانه تابش اندازه‌گیری شده در یک دوره ۱۰ روزه

مقدار تابش آستانه ثبت شده از مقدار پیش بینی در تمام روزهای اندازه‌گیری کمتر می باشد. این مقادیر در دوره آبیاری گیاه (خردادماه) اندازه‌گیری شد. هر چقدر بتوان در تابش‌های پایین از پمپ استفاده نمود مقدار دبی روزانه پمپ افزایش می یابد، اما این مساله تابع نقطه کار نامی پمپ در توان‌ها و تابش‌های دیگر است. اختلاف بین مقدار مدل و مقدار تست می تواند ناشی از تقریب‌های صورت گرفته در مدل‌سازی به منظور دستیابی به یک رابطه ساده و کارا باشد.

۴-۳- تعیین نایقینی^۱

مقدار نایقینی کل برای پارامترهای که به صورت مستقیم در تست‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، به صورت زیر خواهد بود.

$$U = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^j U^2(X_i)} \quad (4-4)$$

در این رابطه U مقدار نایقینی پارامتر محاسباتی و $U(X)$ مقدار نایقینی اندازه‌گیری شده می‌باشد. پارامترهای ارائه شده در این مقاله به طور مستقیم از خروجی حسگرها برداشت شده است. در آزمایشات صورت گرفته، خطاهای حسگرها به صورت: حسگر تابش ۰.۵٪، حسگر دبی ۰.۵٪، حسگر فشارسنج دیجیتال ۰.۵٪ خروجی حداکثر، خطای دما ۰.۳ درجه، ولتاژ و جریان ۰.۵ واحد می‌باشد.

۴-۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، عملکرد تجربی پمپ خورشیدی در مقیاس کوچک در شرایط کوپل مستقیم و اتصال به سیستم آبیاری قطره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. سیستم پمپ خورشیدی مورد نظر از نوع جریان مستقیم و دیافراگمی است. بر این اساس، یک مدل تجربی از سیستم پمپ مورد نظر، طراحی و نصب گردید. آزمایشات در چندین روز انجام گرفت و مقادیر مهم برای چهار روز مختلف مورد بررسی قرار گرفت تا تکرارپذیری آن تایید گردد. از مهمترین نتایج تحقیق حاضر می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- دبی پمپ به سه قسمت مختلف تقسیم می‌شود. چنانچه میزان تابش از مینیمم توان مورد نیاز برای راه‌اندازی پمپ کمتر باشد، عملاً دبی صفر می‌باشد. پس از آن، رفتار دبی پمپ به گونه‌ای است که به صورت خطی تا بیشترین دبی (۲۱۰ لیتر بر ساعت) افزایش می‌یابد و پس از آن با افزایش انرژی

¹ Uncertainty

تابشی، میزان دبی خروجی ثابت باقی می‌ماند. در زمان صبح و غروب و ساعاتی که ابرناکی زیاد می‌گردد، مقدار دبی کاهش می‌یابد.

- فشار سیستم قطره‌ای، تابع میزان تابش خورشید و انرژی ورودی به پنل خورشیدی و پمپ می‌باشد. در زمان صبح و غروب و در شرایط تابش کم، مقدار فشار شبکه قطره‌ای کم می‌باشد و با افزایش تابش خورشید مقدار فشار در شبکه قطره‌ای افزایش می‌یابد و پس از آن مقدار ثابتی از خود نشان می‌دهد. با کاهش توان ورودی به پمپ و کاهش مقدار ولتاژ و جریان پمپ، مقدار فشار نیز کاهش می‌یابد.

- دمای سطح پنل نیز تابعی از دمای محیط و میزان تابش خورشید می‌باشد و روند تغییرات دمای سطح پنل رفتار مشابه مدل‌ها و روابط تحلیلی دارد، اما مقادیر بدست آمده در این آزمایش از مقادیر روابط تئوری، کمتر بوده است. میانگین خطای روش راس در پیش‌بینی دمای سطح پنل ۲.۶ درصد و میانگین خطای روش دمای نرمال کارکرد ۷ درصد می‌باشد.

- در بازه زمانی خرداد ماه بیشترین دمای سطح پنل برابر با ۶۰.۷ درجه سلسیوس به دست آمده است.

- نتایج نشان داد در طراحی و انتخاب پمپ جابجایی مثبت بایستی تلاش شود هد ماکسیمم پمپ به مجموع هد دینامیک مورد نیاز در سیستم آبیاری قطره‌ای نزدیک گردد. راندمان در این شرایط به مقدار ماکسیمم نزدیک خواهد شد. لذا تعداد قطره چکان‌ها با دبی پمپ و حداکثر هد دینامیک سیستم با حداکثر هد پمپ متناسب است

- مقدار تابش آستانه شروع کار پمپ در روزهای مختلف تست در حدود ۱۰۰ وات بر متر مربع می‌باشد. مدل ارایه شده این مقدار را اندکی بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی می‌کند.

فصل پنجم: جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات

۵-۱- جمع بندی

هدف از انجام این پژوهش، دستیابی به یک روش بهینه به منظور افزایش کارایی سیستم پمپ فتوولتاییک به صورت تلفیق با آبیاری قطره‌ای است. تمامی اجزای دخیل در سیستم به صورت تک به تک به صورت ریاضی مدل می‌گردد. به واسطه‌ی ورودی‌های زیاد مساله از روش‌های بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم‌های جمعیتی استفاده می‌گردد. در واقع در این روش از ترکیب پمپ، شبکه توزیع و شرایط آبدهی قطره‌چکان و با در نظر گرفتن شدت تابش خورشید و توان دریافتی استفاده می‌گردد. ورودی تابش آفتاب و انرژی اکتسابی توسط صفحات فتوولتاییک در طول زمان متفاوت خواهد بود. انرژی هیدرولیک قابل تامین بر اساس سناریوی آبدهی مختلف متفاوت خواهد بود. در زمان اتصال به شبکه توزیع قطره‌ای مقادیر هد مربوط به فشار مورد نیاز قطره چکان و افت اصطکاکی شبکه توزیع به افت کل اضافه می‌گردد. در واقع در این شرایط با پیچیدگی زیاد ورودی انرژی مختلف و پروفیل بار متفاوت و عملکرد سیستم پمپ در انرژی هیدرولیک مختلف مواجهه هستیم. در این تحقیق تلاش شده تا یک مدل ریاضی جامع برخط با در نظر گرفتن تاثیرات دما بر روی پنل و مدل پیش بینی کننده نقطه آستانه تابش یا همون نقطه خاموشی پمپ می‌باشد. در این رساله رابطه‌ای بر اساس میزان تابش خورشید آستانه حرکت پمپ برای یک سیستم پمپ جابجایی مثبت ارایه شد. رفتار مدل و حساسیت شناسی نسبت به پارامترهای سیستم بررسی و تحلیل های لازم انجام شده است.

روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک روش جدید و بسیار کارا در زمینه حل مسایل بهینه‌سازی می‌باشد. هدف از بهینه‌سازی در این تحقیق دستیابی به کمترین مقدار توان مصرفی می‌باشد. علاوه بر پیاده سازی سیستم هوشمند ابتکاری که قابلیت تصمیم‌گیری در مورد پارامترهای مهم سیستم را دارد، در این تحقیق یک رهیافت جدید به منظور تشخیص مقدار نیاز آبی درخت و بهینه سازی مقدار حداکثر توان در نقاط حساس ارایه شده است.

پس از انجام مدل‌سازی و بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ازدحام ذرات، پیاده‌سازی آزمایشگاه تست مجموعه می‌باشد. تلاش شد به منظور کاهش هزینه‌های تست، مقادیر سطح توان و ابعاد کار در مقیاس کوچک انجام پذیرد، اما تمام المان‌های دخیل در تصمیم‌گیری در استند تست قرار خواهد گرفت. سیستم داده برداری در روزهای مختلف سال در زمان آبیاری مقادیر دمای محیط، دمای سطح پنل، دبی خروجی پمپ، فشار خط قطره چکان، ولتاژ و جریان ورودی به پمپ و خروجی از پنل اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های دما نشان داد مدل راس در پیش بینی رفتار دمای سطح پنل دقت بهتری دارد. علاوه بر آن پیشنهاداتی در زمینه انتخاب پمپ جابجایی مثبت در یک سیستم متصل به آبیاری قطره ای ارائه شد. رفتار دبی خروجی پمپ به سه قسمت دبی افزاینده، دبی ثابت و دبی کاهنده در یک روز تقسیم می‌شود. یکی از مهم‌ترین آن این که در طراحی و انتخاب پمپ جابجایی مثبت تلاش شود حداکثر هد موثر پمپ به حداکثر هد دینامیکی پمپ نزدیک باشد.

۵-۲- پیشنهادات

در بررسی‌های صورت گرفته، موارد زیر به عنوان ادامه تحقیق پیشنهاد می‌گردد.

- ۱- استفاده از مخزن ذخیره و مقدار بهینه و بررسی اثر آن در کاهش هزینه و ایجاد خودمختاری
- ۲- پیاده‌سازی و اندازه‌گیری به منظور تایید صحت عملکرد سیستم در سایر شرایط آب و هوایی
- ۳- تلفیق سیستم پمپ خورشیدی با آبیاری هوشمند (قابلیت اندازه‌گیری رطوبت خاک و ذخیره‌سازی در مخزن)

۴- بهینه‌سازی سیستم فتوولتائیک ساختمان و پمپ خورشیدی در نقاط دور از شبکه برق

مراجع:

- [1] <http://www.fao.org>
- [2] Rawat, R., Kaushik, S.C. and Lamba, R., 2016. A review on modeling, design methodology and size optimization of photovoltaic based water pumping, standalone and grid connected system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, pp.1506-1519.
- [3] <http://www.worldbank.org>, Solar powered pumps reduce irrigation costs Bangladesh, 2015/09/08.
- [4] Chandel, S.S., Naik, M.N. and Chandel, R., 2015. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, pp.1084-1099.
- [5] Duffie, J.A., Beckman, W.A. and Blair, N., 2020. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. John Wiley & Sons.
- [۶] تارنمای وزارت نیرو، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی نو، پتانسیل تابش و نقشه تابش خورشید در ایران.
- [۷] حسام طاهریان، احسان محسنی لنگوری، ۱۳۸۶، ارزیابی پتانسیل تابش خورشیدی با رویکرد انرژی در بابل – مازندران، کنفرانس سراسری بهینه‌سازی مصرف انرژی.
- [8] Rekioua, D. and Matagne, E., 2012. *Optimization of photovoltaic power systems: modelization, simulation and control*. Springer Science & Business Media.
- [9] Chandel, S.S., Naik, M.N. and Chandel, R., 2017. Review of performance studies of direct coupled photovoltaic water pumping systems and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, pp.163-175.

- [10] Chen, Y.M., Lee, C.H. and Wu, H.C., 2005. Calculation of the optimum installation angle for fixed solar-cell panels based on the genetic algorithm and the simulated-annealing method. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20(2), pp.467-473.
- [۱۱] زهرا طاهری، محمدحسین عباسپورفرد، محمد طبسی زاده و حسین ابوترابی زارچی، ۱۳۹۲،
تأثیر شیب پنل‌های فتوولتائیک بر میزان تابش دریافتی از خورشید (مطالعه موردی: شهر مشهد)،
هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران.
- [12] Gad, H.E. and El-Gayar, S.M., 2009, January. Performance prediction of a proposed photovoltaic water pumping system at South Sinai, Egypt climate conditions. In *Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC13*.
- [13] Katan, R.E., Agelidis, V.G. and Nayar, C.V., 1996, January. Performance analysis of a solar water pumping system. In *Proceedings of International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth (Vol. 1, pp. 81-87)*. IEEE.
- [14] Hamrouni, N., Jraidi, M. and Cherif, A., 2009. Theoretical and experimental analysis of the behaviour of a photovoltaic pumping system. *Solar energy*, 83(8), pp.1335-1344.
- [15] Firatoglu, Z.A. and Yesilata, B., 2004. New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems. *Solar Energy*, 77(1), pp.81-93.
- [16] Ebaid, M.S., Qandil, H. and Hammad, M., 2013. A unified approach for designing a photovoltaic solar system for the underground water pumping well-34 at Disi aquifer. *Energy Conversion and Management*, 75, pp.780-795.
- [17] Loxsom, F. and Durongkaveroj, P., 1994. Estimating the performance of a photovoltaic pumping system. *Solar energy*, 52(2), pp.215-219.

- [18] Amer, E.H. and Younes, M.A., 2006. Estimating the monthly discharge of a photovoltaic water pumping system: model verification. *Energy conversion and management*, 47(15-16), pp.2092-2102.
- [19] Muhsen, D.H., Khatib, T. and Haider, H.T., 2017. A feasibility and load sensitivity analysis of photovoltaic water pumping system with battery and diesel generator. *Energy Conversion and Management*, 148, pp.287-304.
- [20] Khan, M.T.A., Ahmed, M.R., Ahmed, S.I. and Khan, S.I., 2012, January. Design and performance analysis of water pumping using solar PV. In 2nd international conference on the developments in renewable energy technology (ICDRET 2012) (pp. 1-4). IEEE.
- [21] Mokeddem, A., Midoun, A., Kadri, D., Hiadsi, S. and Raja, I.A., 2011. Performance of a directly-coupled PV water pumping system. *Energy conversion and management*, 52(10), pp.3089-3095.
- [22] Kou, Q., Klein, S.A. and Beckman, W.A., 1998. A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems. *Solar Energy*, 64(1-3), pp.33-40.
- [23] Pande, P.C., Singh, A.K., Ansari, S., Vyas, S.K. and Dave, B.K., 2003. Design development and testing of a solar PV pump based drip system for orchards. *Renewable Energy*, 28(3), pp.385-396.
- [24] Kolhe, M., Joshi, J.C. and Kothari, D.P., 2004. Performance analysis of a directly coupled photovoltaic water-pumping system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19(3), pp.613-618.
- [25] Anis, W.R. and Nour, M.A., 1994. Optimum design of a photovoltaic powered pumping system. *Energy conversion and management*, 35(12), pp.1123-1130.
- [26] Glasnovic, Z. and Margeta, J., 2007. A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems. *Solar energy*, 81(7), pp.904-916.

- [27] Glasnovic, Z. and Margeta, J., 2007. Optimization of irrigation with photovoltaic pumping system. *Water resources management*, 21(8), pp.1277-1297.
- [28] Hamidat, A. and Benyoucef, B., 2008. Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems. *Renewable Energy*, 33(5), pp.933-942.
- [29] Firatoglu, Z.A. and Yesilata, B., 2004. New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems. *Solar Energy*, 77(1), pp.81-93.
- [30] Benghanem, M., Daffallah, K.O., Joraid, A.A., Alamri, S.N. and Jaber, A., 2013. Performances of solar water pumping system using helical pump for a deep well: A case study for Madinah, Saudi Arabia. *Energy Conversion and Management*, 65, pp.50-56.
- [31] Abdolzadeh, M., Ameri, M. and Mehrabian, M.A., 2011. Effects of water spray over the photovoltaic modules on the performance of a photovoltaic water pumping system under different operating conditions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(16), pp.1546-1555.
- [32] López-Luque, R., Reca, J. and Martínez, J., 2015. Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards. *Applied Energy*, 149, pp.13-23.
- [33] Reca, J., Torrente, C., López-Luque, R. and Martínez, J., 2016. Feasibility analysis of a standalone direct pumping photovoltaic system for irrigation in Mediterranean greenhouses. *Renewable Energy*, 85, pp.1143-1154.
- [34] Stoppato, A., Cavazzini, G., Ardizzon, G. and Rossetti, A., 2014. A PSO (particle swarm optimization)-based model for the optimal management of a small PV (Photovoltaic)-pump hydro energy storage in a rural dry area. *Energy*, 76, pp.168-174.
- [35] Hamidat, A. and Benyoucef, B., 2009. Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. *Energy Policy*, 37(4), pp.1489-1501.

- [36] Maleki, A., Ameri, M. and Keynia, F., 2015. Scrutiny of multifarious particle swarm optimization for finding the optimal size of a PV/wind/battery hybrid system. *Renewable Energy*, 80, pp.552-563.
- [37] Kim, J., Kim, J. and Kim, C., 2011. A regulated charge pump with a low-power integrated optimum power point tracking algorithm for indoor solar energy harvesting. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 58(12), pp.802-806.
- [38] Talebizadeh, P., Mehrabian, M.A. and Abdolzadeh, M., 2011. Prediction of the optimum slope and surface azimuth angles using the Genetic Algorithm. *Energy and buildings*, 43(11), pp.2998-3005.
- [39] Skoczek, A., Sample, T. and Dunlop, E.D., 2009. The results of performance measurements of field-aged crystalline silicon photovoltaic modules. *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, 17(4), pp.227-240.
- [40] So, J.H., Jung, Y.S., Yu, G.J., Choi, J.Y. and Choi, J.H., 2007. Performance results and analysis of 3 kW grid-connected PV systems. *Renewable Energy*, 32(11), pp.1858-1872.
- [41] Ma, T., Yang, H., Lu, L. and Peng, J., 2014. An optimization sizing model for solar photovoltaic power generation system with pumped storage. *Energy procedia*, 61, pp.5-8.
- [42] Abouda, S., Nollet, F., Chaari, A., Essounbouli, N. and Koubaa, Y., 2013. Direct torque control-DTC of induction motor used for piloting a centrifugal pump supplied by a photovoltaic generator. *International Journal of Electrical, Computer and Communication Engineering*, 7(8), pp.1110-1115.
- [43] Chandrasekaran, N. and Thyagarajah, K., 2012. Modeling and performance study of single phase induction motor in PV fed pumping system using MATLAB. *International Journal of Electrical Engineering*, 5(3), pp.305-316.

- [44] Muhsen, D.H., Ghazali, A.B., Khatib, T., Abed, I.A. and Natsheh, E.M., 2016. Sizing of a standalone photovoltaic water pumping system using a multi-objective evolutionary algorithm. *Energy*, 109, pp.961-973.
- [45] Niajalili, M., Mayeli, P., Naghashzadegan, M. and Poshtiri, A.H., 2017. Techno-economic feasibility of off-grid solar irrigation for a rice paddy in Guilan province in Iran: A case study. *Solar Energy*, 150, pp.546-557.
- [46] Flores, C., Poza, F. and Narvarte, L., 2012. A tool to widen the possibilities of PV pumping simulation. *International Journal of Sustainable Energy*, 31(2), pp.73-84.
- [47] Khatib, T., Mohamed, A. and Sopian, K., 2013. A review of photovoltaic systems size optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, pp.454-465.
- [48] Bakelli, Y., Arab, A.H. and Azoui, B., 2011. Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. *Solar energy*, 85(2), pp.288-294.
- [49] Short, T.D. and Burton, J.D., 2003. The benefits of induced flow solar powered water pumps. *Solar energy*, 74(1), pp.77-84.
- [50] Liu, L., Sun, Q., Li, H., Yin, H., Ren, X. and Wennersten, R., 2019. Evaluating the benefits of integrating floating photovoltaic and pumped storage power system. *Energy Conversion and Management*, 194, pp.173-185.
- [51] Zhang, J., Liu, J., Campana, P.E., Zhang, R., Yan, J. and Gao, X., 2014. Model of evapotranspiration and groundwater level based on photovoltaic water pumping system. *Applied energy*, 136, pp.1132-1137.
- [52] Vezin, T., Meunier, S., Queval, L., Cherni, J.A., Vido, L., Darga, A., Dessante, P., Kitanidis, P.K. and Marchand, C., 2020. Borehole water level model for photovoltaic water pumping systems. *Applied Energy*, 258, p.114080

- [53] Chilundo, R.J., Maure, G.A. and Mahanjane, U.S., 2019. Dynamic mathematical model design of photovoltaic water pumping systems for horticultural crops irrigation: A guide to electrical energy potential assessment for increase access to electrical energy. *Journal of Cleaner Production*, 238, p.117878.
- [54] Nikzad, A., Chahartaghi, M. and Ahmadi, M.H., 2019. Technical, economic, and environmental modeling of solar water pump for irrigation of rice in Mazandaran province in Iran: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 239, p.118007.
- [55] Kornelakis, A., 2010. Multiobjective particle swarm optimization for the optimal design of photovoltaic grid-connected systems. *Solar Energy*, 84(12), pp.2022-2033.
- [56] Olcan, C., 2015. Multi-objective analytical model for optimal sizing of stand-alone photovoltaic water pumping systems. *Energy Conversion and Management*, 100, pp.358-369.
- [57] Bakelli, Y., Arab, A.H. and Azoui, B., 2011. Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. *Solar energy*, 85(2), pp.288-294.
- [58] Hossain, M.A., Hassan, M.S., Mottalib, M.A. and Ahmmed, S., 2015. Technical and economic feasibility of solar pump irrigations for eco-friendly environment. *Procedia Engineering*, 105, pp.670-678.
- [59] Rizi, A.P., Ashrafzadeh, A. and Ramezani, A., 2019. A financial comparative study of solar and regular irrigation pumps: Case studies in eastern and southern Iran. *Renewable Energy*, 138, pp.1096-1103.
- [60] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), p. D05109.

- [61] Zavala, V., López-Luque, R., Reca, J., Martínez, J. and Lao, M.T., 2020. Optimal management of a multisector standalone direct pumping photovoltaic irrigation system. *Applied Energy*, 260, p.114261.
- [62] Khiareddine, A., Gam, O. and Mimouni, M.F., 2019, March. Techno-economic analysis of the lithium-ion and lead-acid battery in Photovoltaic pumping system. In 2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA) (pp. 417-422). IEEE.
- [63] Abhilash, P., Kumar, R.N. and Kumar, R.P., 2020. Solar powered water pump with single axis tracking system for irrigation purpose. *Materials Today: Proceedings*.
- [64] Shaik, R., Beemkumar, N., Adharsha, H., Venkadeshwaran, K. and Dhass, A.D., 2020. Efficiency enhancement in a PV operated solar pump by effective design of VFD and tracking system. *Materials Today: Proceedings*.
- [65] Yaichi, M., Fellah, M.K., Tayebi, A. and Boutadara, A., 2019. A fast and simplified method using non-linear translation of operating points for PV modules energy output and daily pumped water to predict the performance of a stand-alone photovoltaic pumping system at different heads. *Renewable energy*, 133, pp.248-260.
- [66] Mousavi, N., Kothapalli, G., Habibi, D., Das, C.K. and Baniasadi, A., 2020. A novel photovoltaic-pumped hydro storage microgrid applicable to rural areas. *Applied Energy*, 262, p.114284.

مقالات چاپ شده در مجلات علمی - پژوهشی

ردیف	عنوان مقاله	محل انتشار	تاریخ انتشار	عنوان مجله
۱	Mathematical modeling of direct-coupled photovoltaic solar pump system for small-scale irrigation	Taylor and Francis	۲۰۱۹	Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects
2	مطالعه تجربی آبیاری قطره‌ای مقیاس کوچک با استفاده از پمپ خورشیدی جابجایی مثبت در شرایط کوپل مستقیم	مجله مهندسان مکانیک	۱۳۹۸	نشریه پژوهشی مهندسی مکانیک ایران
۳	امکان سنجی فنی-اقتصادی بکارگیری پمپ فتوولتائیک خورشیدی در آبیاری قطره ای درختان مرکبات استان مازندران	مازندران- ساری	۱۳۹۸	سومین همایش ملی مدیریت منابع آب نواحی ساحلی
۴	مدلسازی سیستم پمپ خورشیدی فتوولتائیک به صورت کوپل مستقیم با آبیاری قطره ای	تهران- کرج	۱۳۹۶	کنفرانس ملی پژوهش های نوین در مهندسی کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی

Abstract

This dissertation models a solar pump system based on a photovoltaic system and combines it with a drip irrigation system to irrigate farms away from the power grid, along with experimental and field experiments in the northern climate. Direct coupling the solar pump to the photovoltaic panels and not using the battery will reduce system costs, but on the other hand, optimizing and adapting the working point of the pump and photovoltaic panels will complicate drip irrigation, especially when connected to the drip irrigation system. A model is presented in this dissertation that has the ability to predict system behavior in real time at all hours of the day. An efficient and suitable model was presented that predicts the main parameters of the system, including the amount of radiation, the amount of pump flow, the dropper flow rate, the total dynamic head, the panel power, the nominal power of the pump and the surface temperature of the plate. Determine the effect of different days of the year and environmental effects on system performance. A generalized mathematical model based on the principle of correlation in pumps is presented to predict the minimum radiation required for pumping a solar pump system connected to drip irrigation. Particle swarm optimization method has been used to optimize panel installation angle, panel power and pump power. A new optimization approach is proposed based on the water needs of the plant. Nominal power optimization (maximum power of solar panels) was considered as the objective function in this paper. This optimization method first detects the amount of water requirement based on the climatic conditions of the region and extracts the optimal values based on the radiation data and temperature conditions of the region. The results of optimizing the optimal angle of installation of the plates are presented on a daily basis as well as a fixed monthly and annual angle. The results showed that the optimal fixed installation angle of the panel based on the plant irrigation period is 15.5 degrees and the optimal fixed installation angle based on the annual angle is 34 degrees. The effect of parameters on the mathematical model presented was determined using field experiments on plant irrigation days. The data collection system measured the ambient temperature, the temperature of the solar panels, the amount of solar radiation, the amount of instantaneous flow of the pump, the pressure of the dropper line, the current and voltage of the output of the photovoltaic panels and the input to the electric pump. The output behavior of a positive displacement pump during the day is divided into three parts: ascending, constant and descending. The radiation threshold for starting the pump was measured and compared with the value of the presented model of 125 watts per square meter. The start-up threshold values of the pump measured in ten sunny days showed lower values than the start-up threshold in the optimal model. According to the normal cell operating temperature model, the maximum panel surface temperature on irrigation days is 67.5 degrees, the maximum temperature recorded on test days is 60.7 degrees. At the start of the pump, a sharp increase in panel surface temperature was observed.



Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering

Ph.D. Thesis in Energy Conversion Engineering

**Optimization of solar pump system and its experimental study
based on northern climate of Iran (Case study of Babol city)**

By: Mehdi Hedayatpour

Supervisor:

Dr. Mahmood Chahartaghi

October 2020